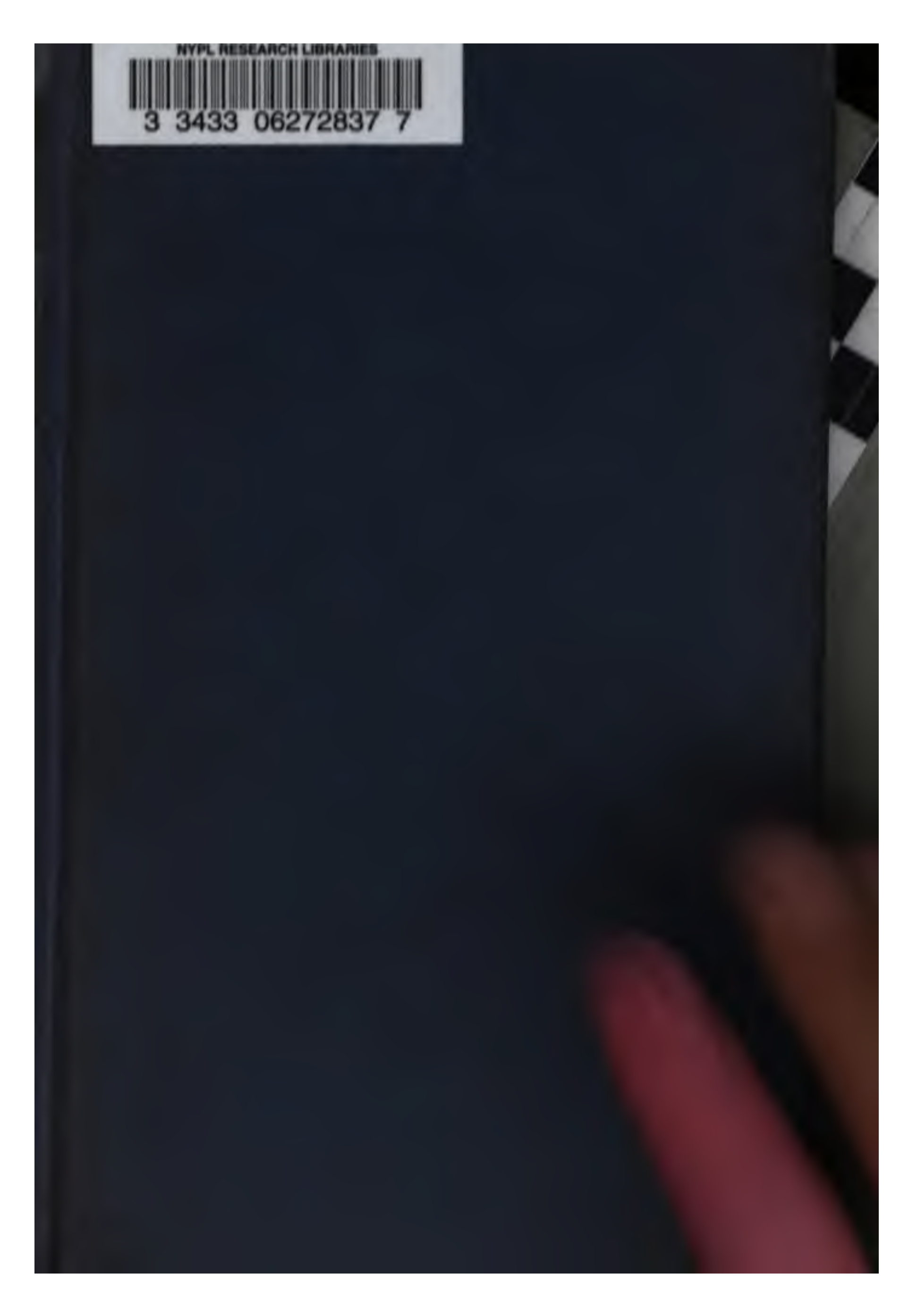


NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06272837 7





LA DYNAMITE

ET

LA NITROGLYCÉRINE

PARIS. — TYP. A. HENNUYER, RUE DU BOULEVARD, 7.

LA DYNAMITE

ET

LA NITROGLYCÉRINE

HISTORIQUE, PRÉPARATION, PROPRIÉTÉS
EMPLOI, MODES D'EXPLOSION, APPAREILS ÉLECTRIQUES
APPLICATIONS A LA GUERRE ET A L'INDUSTRIE
TORPILLES

PAR

P. CHAMPION,
Chimiste
attaché, pendant le siége de Paris, à l'état-major du général Tripier
pour l'emploi de la dynamite.

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE
J. BAUDRY, LIBRAIRE-ÉDITEUR
RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
LIÉGE, MÊME MAISON

1872

PRÉFACE

La dynamite, employée depuis plusieurs années en Suède, en Allemagne et en Amérique, fut prohibée en France jusqu'en 1870. On n'a d'ailleurs publié sur cette matière que de rares documents ou des renseignements incomplets, malgré l'importance considérable des applications diverses auxquelles elle se prête, tant comme auxiliaire de l'industrie que comme un des engins de guerre les plus énergiques.

Nous avons voulu, dans le livre que nous présentons au lecteur, donner sur la dynamite des notions aussi complètes que possible, indiquer sa préparation, son mode d'emploi dans l'industrie, ainsi que son application aux opérations de guerre.

Nous ne nous sommes pas borné à citer les

résultats de nos études et de nos travaux pe sonnels sur la dynamite, et les applications qı nous en avons faites : le lecteur trouvera un ce tain nombre de notes et d'extraits choisis da les différentes publications françaises et étra gères qui ont traité ce sujet, et le compte renc des expériences les plus intéressantes qui ont é publiées jusqu'à ce jour.

La dynamite nous paraît appelée à un graı avenir; l'absence de danger que présente s(transport, l'instantanéité de son explosion, qı même à l'air libre, peut briser les obstacles l plus résistants, la propriété de conserver toute puissance explosive, quoique soumise à l'i fluence de l'humidité, tous ces avantages lui a surent une supériorité marquée sur la poudre point de vue iudustriel.

Pour le tirage des roches notamment, qua on se trouve en présence de matières résistant telles que le quartz, le grès dur, la castine, et l'emploi de ce composé explosif permet de ré liser une économie considérable.

Il ne faut pas cependant conclure de là que dynamite doive être employée dans tous les (indistinctement. Ainsi pour l'extraction (

pierres tendres, telles que le gypse et certains carbonates de chaux, la poudre présente une supériorité marquée, comme exerçant une action brisante moins énergique.

Au point de vue militaire, l'utilité de la dynamite s'est manifestée d'une manière incontestable pendant la dernière guerre.

C'est grâce au général Tripier, auprès duquel les inventions nouvelles ont toujours trouvé un accueil favorable, que cette matière a été employée pendant le siége de Paris (1), et déjà nous avons pu constater à l'Ecole d'application de Fontainebleau et à l'Ecole de Saint-Cyr que les officiers du génie et de l'artillerie attachaient désormais à la dynamite une importance toute particulière, et que ses applications étaient pour eux le sujet d'études spéciales. Nous ne doutons pas que, ces études se généralisant, les propriétés et les effets de la dynamite ne soient prochainement encore mieux connus, de telle sorte qu'on puisse régler avec exactitude l'emploi de ce composé explosif comme engin de guerre.

Nous nous estimerons heureux si nous avons

(1) La fabrication de la dynamite a été instituée et dirigée par le comité d'*armement*.

pu contribuer à la vulgarisation d'un produit appelé à rendre d'aussi importants services.

La dynamite est destinée, nous le croyons du moins, à remplacer la poudre ordinaire dans le chargement des torpilles; aussi faisons-nous suivre cet ouvrage d'un appendice sur ce sujet, qui préoccupe en ce moment toutes les nations maritimes.

Avant de terminer, nous tenons à rendre un hommage public à MM. H. Pellet, Grenier, et Chaulin, qui nous ont prêté leur habile concours et nous ont assisté dans la plus grande partie de nos expériences.

P. C.

LA DYNAMITE

ET

LA NITROGLYCÉRINE

La dynamite est composée de nitroglycérine et d'une matière inerte qui sert d'absorbant. Nous décrirons donc d'abord la fabrication et les propriétés de la nitroglycérine, ainsi que celles des corps qui concourent à sa préparation.

NITROGLYCÉRINE

$C^6H^5O^6, 3AzO^4$.

HISTORIQUE

Découverte. — La nitroglycérine fut découverte en 1847 par A. Sobrero, et resta longtemps sans application, connue seulement comme produit de laboratoire. Ce n'est qu'en 1864 que M. Nobel, ingénieur suédois, commença à utiliser industriellement cette substance et à tirer parti de sa force explosive.

Les premières fabriques furent installées en Suède, et l'usage de la nitroglycérine se généralisa en Europe et en Amérique, grâce à l'économie qu'on réalisait en la substituant à la poudre pour le tirage des roches et des mines. Cependant de nombreux accidents attirèrent l'attention sur les dangers que présentait l'emploi et surtout le transport de ce produit.

Pour diminuer les chances d'explosion, M. Kopp conseilla de fabriquer la nitroglycérine par petites quantités dans des cabanes isolées et légèrement construites, sur le lieu même où on devait l'employer.

On peut aussi la dissoudre dans de l'esprit de bois (alcool méthylique) pour rendre son transport moins dangereux ; en effet, cette dissolution ne détone pas sous l'influence du choc, à moins qu'elle ne soit congelée, et même dans ces conditions son explosion ne peut avoir lieu que dans des cas spéciaux.

Accidents. — Parmi les accidents causés par la nitroglycérine, nous citerons l'explosion d'Aspinwall, celles de San-Francisco, de Sidney, de Hirschberg (Silésie), etc.

Plusieurs gouvernements s'émurent de ces faits et défendirent la fabrication de cette dangereuse substance.

L'usage de la nitroglycérine se restreignit de plus en plus jusqu'en 1867, époque à laquelle M. Nobel trouva le moyen de la transformer en dynamite, produit exempt de dangers et doué d'une force explosive tout aussi énergique.

Nous joignons à ces renseignements un extrait *d'un mémoire* lu devant la Société des ingénieurs

de Londres, le 1er février 1867, et traduit dans le *Moniteur scientifique de Quesneville.*

« En 1864, M. Alfred Nobel, ingénieur suédois, essaya le premier d'appliquer utilement la force explosive de la nitroglycérine. Il fit ses premières expériences sur la poudre à canon dont les grains avaient été saturés de cette substance. La poudre ainsi préparée, exposée en plein air et enflammée, brûlait avec une flamme seulement un peu plus brillante que dans son état naturel. Mais M. Nobel reconnut que, lorsqu'elle était enflammée dans un projectile creux ou dans un trou de mine, c'est-à-dire dans un état de confinement, la force explosive était considérablement augmentée, comparativement avec de la poudre à l'état naturel ; l'augmentation paraissait dans le rapport de 1 à 6. Quant à la nitroglycérine liquide, elle ne pouvait être employée à la manière de la poudre dans les usages des mines, parce que la mèche seule ne l'enflammait pas. Il y avait là une difficulté que l'habile expérimentateur résolut en attachant une petite charge de poudre usuelle à l'extrémité de la mèche qui pénétrait dans le trou de mine, au-dessus de la matière explosive. Dans cette disposition, c'est l'ébranlement produit par la détonation de cette petite charge qui détermine l'explosion de la nitroglycérine. On estime aujourd'hui que sa puissance explosive est égale à dix fois celle de la poudre à canon. Si donc on suppose, comme précédemment, qu'un demi-kilogramme de poudre ait la force d'arracher du sol et de projeter un poids moyen de 16000 kilogrammes, on aura 160000 kilogrammes ou 160 tonnes pour la mesure du travail

du même genre que pourra effectuer un demi-kilogramme de nitroglycérine. Aussi, malgré son prix élevé, à peu près septuple de celui de la poudre de mine ordinaire, trouve-t-on dans son emploi un grand avantage économique, surtout pour le travail de roches dures, où elle abrége des neuf-dixièmes la tâche longue et pénible du percement des trous. Elle s'est promptement vulgarisée en Suède et en Allemagne, tandis que dans notre pays elle n'est guère connue que des expérimentateurs.

« Il est vrai que l'énergie extraordinaire de ce corps explosif, si précieuse qu'elle puisse être en elle-même, comme une grande source de force mécanique, n'est pas seule à considérer dans l'importante question de son emploi; les tentatives qui ont eu pour objet de la substituer à la poudre de mine ont été signalées par d'effrayantes catastrophes, résultant de l'extrême instabilité de ses éléments.

« *Accidents.* — *Explosion de* L'EUROPÉEN. — On se souvient de l'explosion qui détruisit le steamer *l'Européen*, de la Compagnie des Indes occidentales.

« L'événement arriva le 3 avril 1866, pendant le déchargement de la cargaison le long du Warf de la Compagnie d'Aspinwall. Le force de l'explosion fut telle, que le pont, les flancs et les agrès du navire furent projetés au loin, et que le Warf lui-même fut littéralement mis en pièces et en morceaux. Quinze personnes y périrent, et beaucoup d'autres furent grièvement blessées. Quelques débris des papiers du bord permirent de constater que la cargaison comprenait plusieurs caisses de nitroglycérine, et il est probable que la catastrophe eut pour cause un ma-

niement trop brusque de ces caisses par des hommes qui n'en connaissaient pas la nature dangereuse et n'y voyaient que des colis ordinaires. Cet événement fut bientôt suivi d'un autre non moins désastreux. Le 16 du même mois, deux barils, tout tachés d'une matière huileuse, chacun d'une capacité de 4 pieds cubes, furent débarqués du steamer *le Pacifique* à San-Francisco et transportés dans cette ville. A peine y arrivaient-ils, qu'ils éclatèrent ; l'explosion fit de nombreuses victimes, et tout un quartier en fut ébranlé comme il aurait pu l'être par un tremblement de terre. Peu de temps auparavant, le 4 mars 1866, une explosion, également violente, répandait la consternation dans la ville de Sidney (Australie) ; elle partait des magasins de M. Molison, qui furent anéantis ; des édifices du voisinage s'écroulèrent eux-mêmes de fond en comble, et l'on eut aussi à déplorer de nombreuses victimes. Le désastre provenait de la réception de deux caisses de nitroglycérine.

« Mais il ne suffit pas que la nitroglycérine ait pu être transportée sans accidents jusqu'au lieu de sa destination et qu'elle ait été remise entre les mains du mineur ; l'instant du plus grand danger est celui de son introduction dans le trou de mine. Que son passage dans l'étroite cavité donne lieu à un léger froissement, et peut-être elle va répandre autour d'elle la destruction et la mort. Combien ont été légères quelquefois les causes de ces explosions prématurées, de ces événements funèbres dont la liste serait si longue, si la nécrologie des mines les enregistrait ! Nous devons signaler, en outre, un inconvénient par-

ticulier inhérent à la nature de la nitroglycérine, et qui résulte de ce qu'elle se solidifie, dès que la température s'abaisse à 5 degrés centigrades; parce qu'à l'état solide, elle est encore beaucoup plus sujette à détoner par le frottement (1). On en a eu un triste exemple en 1867, à Hirschberg, dans la Silésie, où la nitroglycérine était employée pour l'exécution d'un tunnel. Quelquefois elle était gelée, et alors on en séparait avec infiniment de précautions les fragments qu'on introduisait dans les trous de mine; car à l'état solide, elle peut servir au même usage qu'à l'état liquide. Un jour, un inspecteur voulut en diviser un morceau avec un instrument de fer, au lieu de bois et il provoqua ainsi une explosion dont il fut victime En Angleterre même, les expériences auxquelles on s'est livré sur la nitroglycérine ont occasionné plusieurs accidents qui ne pouvaient encourager à en recommander l'emploi. Mais il n'est pas nécessaire de multiplier les citations de pareils faits; ceux que nous avons rappelés sont parfaitement concluants Quels que soient d'ailleurs les avantages qu'elle puisse offrir, une substance aussi dangereuse, et qui même dans les meilleures conditions ne donne jamais une sécurité complète, est jugée et condamnée; la nitroglycérine, employée dans son état naturel, comme nous l'avons supposé, doit être rigoureusement proscrite de tous les travaux industriels.»

(1) Cette opinion est erronée. Voir plus loin *Propriétés* de la nitroglycérine. P. C.

PRÉPARATION

La nitroglycérine s'obtient par l'action d'un mélange d'acide sulfurique concentré et d'acide azotique fumant, sur la glycérine. Nous commencerons par décrire la préparation de l'acide azotique fumant et celle de la glycérine. Quant à l'acide sulfurique, on emploie généralement l'acide ordinaire du commerce, désigné sous le nom d'*acide à 66 degrés*.

Préparation de l'acide azotique fumant.

On prépare l'acide azotique fumant en distillant un mélange de 85 parties d'azotate de soude ou de 101 parties d'azotate de potasse, avec 98 parties d'acide sulfurique ordinaire (1). Il est utile de fondre le sel employé pour le débarrasser des dernières traces d'eau qu'il peut contenir, et de le réduire en poudre fine, pour rendre complète l'action décomposante de l'acide sulfurique. L'opération se fait dans une cornue de verre dont le col s'engage dans un récipient refroidi par un courant d'eau. On doit éviter d'employer des bouchons de liége qui seraient rapidement détruits. La fabrication en grand s'opère dans des chaudières en fonte de $1^m,33$ de diamètre sur 1 mètre de profondeur. On agit alors sur plusieurs centaines de kilogrammes d'azotate de soude ou de potasse.

L'acide ainsi préparé est jaune ; il répand à l'air d'épaisses fumées. La densité est égale à 1.52, et il

(1) *Dictionnaire de chimie*, par M. Wurtz, p. 49.

marque environ 48 à 50 degrés à l'aéromètre. Refroidi de 49 à 55 degrés, il se prend en une masse butyreuse. Il bout à 86 degrés ; à cette température, il commence à se décomposer et à donner des vapeurs colorées. La lumière décompose aussi l'acide azotique. Cette action est d'autant plus sensible que l'acide est plus concentré. Un acide d'une densité de 1.30 n'est plus notablement influencé par la lumière.

Préparation de l'acide azotique fumant avec l'acide azotique ordinaire.

On peut aussi préparer l'acide azotique fumant avec l'acide azotique ordinaire du commerce à 36 degrés Baumé. Il suffit pour cela de distiller un mélange de 1 volume d'acide azotique et de 1 volume d'acide sulfurique à 66 degrés. On met généralement de côté le premier quart du produit de la distillation. On recueille les deux autres quarts. La dernière partie reste dans la cornue comme résidu : on obtiendrait, en la recueillant, un acide d'une densité un peu supérieure à 36 degrés Baumé.

L'acide azotique fumant, obtenu par les procédés que nous venons de décrire, est coloré en jaune rougeâtre par des vapeurs d'acide hypoazotique. Ces vapeurs pouvant amener de graves inconvénients dans la préparation de la nitroglycérine, il est utile de s'en débarrasser. On atteint ce résultat par divers procédés, parmi lesquels nous citerons les suivants :

1° Procédé de M. Millon. On chauffe l'acide azotique fumant à 75 ou 80 degrés et on le fait traverser

par un courant rapide d'acide carbonique ou d'air, qui entraîne les vapeurs d'acide hypoazotique.

L'acide azotique se décolore promptement sans subir de déperdition notable.

2° On distille l'acide azotique avec quelques grammes de peroxyde de manganèse ou de bichromate de potasse ; sous l'influence oxydante de ces corps, l'acide hypoazotique se transforme en acide azotique.

Glycérine.

La glycérine s'obtient dans la saponification des corps gras. Les deux procédés les plus en usage pour cette préparation sont la saponification avec la chaux, ou au moyen de la vapeur d'eau surchauffée.

Dans ce cas, il est nécessaire de ne pas dépasser la température à laquelle s'altère la glycérine.

« Les eaux (1) qui ont servi à la saponification du suif à l'aide de la chaux, sont évaporées à consistance sirupeuse sans dépasser vers la fin la température de 130 degrés. Après le refroidissement on dissout le résidu dans quatre à cinq fois son poids d'alcool très-concentré, et on abondonne la dissolution au repos jusqu'à ce qu'elle soit éclaircie : on filtre la partie liquide, on chasse l'alcool par la distillation, puis on dissout le sirop brun dans l'eau et on fait digérer la solution avec de l'oxyde de plomb en poudre ; on filtre encore et on traite par l'hydrogène sulfuré la liqueur filtrée. Ce dernier traitement donne naissance à du sulfure de plomb qui, en se déposant,

(1) Malaguti, *Leçons de chimie*.

décolore notablement la masse liquide en lui laissant toutefois une légère teinte jaunâtre que le charbon animal fera disparaître.

« Pour avoir la glycérine pure on n'a plus qu'à concentrer dans le vide de la machine pneumatique la liqueur qui aura subi tous les traitements que nous venons de décrire. A l'usine de M. Wilson, à Londres, on prépare des quantités considérables de glycérine pure et parfaitement incolore, en concentrant la partie aqueuse du produit qui distille lorsqu'on soumet dans des alambics les corps gras à l'action de la vapeur d'eau surchauffée à une température de 240 à 250 degrés. »

Propriétés de la glycérine. — La glycérine, telle qu'on la trouve dans le commerce, est un liquide incolore, visqueux, inodore et douée d'une saveur sucrée. Elle attire l'humidité de l'air. Sa densité est de 1.26 à 1.27, suivant la température. Sous l'action prolongée d'un froid intense, elle cristallise en petites aiguilles. Elle se dissout en toutes proportions dans l'eau et dans l'alcool, et est insoluble dans l'éther et dans le chloroforme. Elle dissout plusieurs corps minéraux et organiques, tels que le brome, l'iode, la potasse, certains sels de cuivre, de quinine, de morphine, des savons, des sucres, etc. (Voir le *Dictionnaire* de M. Wurtz, p. 1592).

La glycérine du commerce, qui marque en général 27 à 28 degrés Baumé, doit être concentrée à 31 ou 32 degrés (1) pour servir à la préparation de la nitroglycérine. On évite ainsi en partie l'élévation de température qui se manifeste dans la réaction.

(1) *On doit éviter* soigneusement l'emploi de glycérine acide.

Il suffit pour cela de l'évaporer avec précaution dans le vide ou à l'air libre. L'évaporation dans le vide fournit un produit incolore, tandis que la glycérine concentrée à feu nu dans des vases métalliques se colore toujours plus ou moins en brun et donne par suite un produit nitré également coloré qu'on ne peut débarrasser de sa couleur par des lavages réitérés. Cette coloration n'exerce d'ailleurs aucune influence sur la préparation de la nitroglycérine et sur ses propriétés explosives. Aussi l'évaporation se fait-elle directement dans des bassines en métal, procédé beaucoup plus économique que l'évaporation dans le vide.

D'après nos essais, la glycérine à 28 degrés perd de 7 à 8 pour 100 d'eau pour passer à 30 degrés Baumé (densité 1,28). A ce point élevé de concentration, la viscosité du liquide rend difficile la détermination de la densité au moyen des aéromètres.

Pour obtenir la glycérine à 32 degrés, il suffit de la maintenir pendant deux ou trois heures à la température de 130 degrés. Au bout de ce temps, la perte devient peu sensible. Il se dégage des fumées dont l'odeur rappelle celle de l'acroléine. En prenant la précaution d'évaporer au bain d'huile ou de sable dans des vases en porcelaine ou en grès, le produit ne se colore que très-faiblement.

Préparation de la nitroglycérine dans le laboratoire.

Pendant longtemps la nitroglycérine ne se préparait dans les laboratoires que par petites quantités. On mélangeait 4 à 5 grammes d'acide nitrique con-

centré avec un poids double d'acide sulfurique. Une fois le mélange refroidi, on y introduisait par gouttes 2 ou 3 grammes de glycérine, en ayant soin d'agiter et de laisser refroidir le mélange à chaque addition de glycérine. On laissait la réaction se produire pendant quelques minutes, puis on jetait le tout dans un vase plein d'eau, et on recueillait la nitroglycérine précipitée sous la forme d'un corps huileux blanchâtre. On la lavait à grande eau et on l'enlevait au moyen d'une pipette.

Procédé de M. Kopp. — M. Kopp indiqua, en 1866, un procédé pour la préparation de la nitroglycérine sur une plus grande échelle. Ce procédé, que nous rapportons pour mémoire, se trouve décrit dans les *Comptes rendus de l'Académie* de 1866 :

« Dans un mélange refroidi de 2200 grammes d'acide sulfurique concentré et de 1100 grammes d'acide azotique fumant, que renferme un vase ouvert en grès, on fait couler lentement, et en agitant, 500 grammes de glycérine à 30 degrés Baumé. On laisse réagir pendant dix minutes, puis on verse le mélange dans six fois son volume d'eau froide mise en mouvement. La nitroglycérine se précipite : on la soutire à l'aide d'un robinet de fond en verre ou en grès, et on effectue deux lavages à l'eau froide. »

Cette fabrication s'opérait à l'endroit même où l'on devait se servir de la nitroglycérine, et sous des hangars en bois construits aussi légèrement que possible, afin de ne présenter aucun obstacle en cas d'accident. La nitroglycérine ainsi préparée devait être immédiatement employée, car deux lavages ne suffi-
...as pour enlever tout l'acide qu'elle renferme.

Dans cet état d'impureté, elle se décompose à la longue, et ses propriétés explosives diminuent avec l'altération progressive qu'elle subit.

Ce procédé, que nous avons souvent expérimenté, présente de graves inconvénients dans la disposition des appareils : si on verse à la fois une trop grande quantité de glycérine, l'échauffement dû à la réaction est si rapide, qu'on ne peut le prévenir au moyen d'un courant d'eau froide. Si la température s'élève jusqu'à 40 degrés environ, on voit se dégager des vapeurs rutilantes d'acide hypoazotique, puis le liquide commence à bouillonner et une partie du mélange se trouve projetée hors du récipient qui le renferme. On obtient alors de l'acide oxalique au lieu de nitroglycérine. Nous avons à dessein provoqué plusieurs fois cet accident, en opérant sur quelques grammes de glycérine, sans amener d'explosion. Il n'en serait peut-être pas de même, si on agissait sur plusieurs kilogrammes de glycérine.

Fabrication continue.

Pendant le siége de Paris, chargé de faire des essais sur les applications de la dynamite, nous avons dû préparer une certaine quantité de nitroglycérine. La préparation industrielle de cette matière étant tenue secrète par M. Nobel, nous avons eu recours à différents procédés que nous allons décrire.

Temps nécessaire à la préparation de la nitroglycérine. — Dans la préparation du coton-poudre, de la nitroglycérine et de divers autres composés analogues, les réactions chimiques demandent, pour

s'effectuer, beaucoup moins de temps que la plupart des traités spéciaux ne l'indiquent. Pour le coton-poudre, certains prescrivent de une à deux heures d'immersion, d'autres vingt minutes. Pour la nitroglycérine, on considère généralement comme nécessaire un contact de dix minutes à un quart d'heure.

Or, pour cette dernière substance, M. Pellet, notre collaborateur, a reconnu qu'un contact de quelques secondes avec les acides suffisait largement.

Procédé du serpentin. — Partant de ce principe, les essais suivants ont été faits : un serpentin en verre, surmonté d'un tube bifurqué dont les deux branches servaient à recevoir, l'une la glycérine, l'autre le mélange froid des acides, était refroidi par un courant d'eau. L'écoulement des liquides était réglé par des robinets sur lesquels étaient fixées des aiguilles se mouvant sur des secteurs gradués. Le rapport entre les quantités d'acides et de glycérine employées était celui qu'avait indiqué M. Kopp. L'extrémité inférieure du serpentin plongeait dans un récipient plein d'eau destiné à recevoir la nitroglycérine, qui se formait rapidement par le contact des liquides mis en présence. Au bout d'un certain temps, on décantait la nitroglycérine et on la lavait en l'agitant dans l'eau à plusieurs reprises jusqu'à ce que toutes les traces d'acides eussent disparu. En quelques minutes, et avec de petits serpentins, nous avons préparé ainsi plusieurs centaines de grammes de nitroglycérine, et cela sans aucun danger. Il se dégageait pendant l'opération très-peu de vapeurs acides, et l'élévation de température était peu sensible, l'eau destinée au refroidissement se renouve-

lant d'une manière continue. Néanmoins, ce procédé était défectueux au point de vue industriel. En effet, on peut arriver à produire 200 à 210 parties de nitroglycérine pour 100 parties de glycérine; tandis qu'avec la méthode du serpentin nous n'obtenions qu'un rendement de 120 à 140 pour 100. La viscosité de la glycérine et la différence de densité des liquides empêchaient le mélange de se faire d'une manière intime, et une grande partie de la glycérine échappait à l'action des acides.

Procédé des entonnoirs. — Ce procédé fut modifié de la manière suivante : on disposa une série d'entonnoirs le long d'une planchette, de telle sorte que l'extrémité de chacun d'eux laissait écouler les liquides sur le bord intérieur de l'entonnoir qui se trouvait au-dessous. On réglait l'écoulement comme dans l'expérience précédente. Le temps nécessaire au passage des liquides à travers toute la série d'entonnoirs n'était que de quelques secondes : la nitroglycérine tombait dans un vase plein d'eau placé à la partie inférieure de l'appareil. Le rendement était de 140 à 145 pour 100. Ce système présentait plusieurs inconvénients : les vapeurs qui se dégageaient se répandaient librement dans l'atmosphère et causaient de violents maux de tête aux opérateurs; en outre, comme l'air seul servait au refroidissement des entonnoirs, ceux-ci s'échauffaient d'une manière notable au bout d'un certain temps.

Procédé par fractionnement. — On peut encore préparer rapidement plusieurs kilogrammes de nitroglycérine par la méthode suivante : On prend 2 ou 3 kilogrammes du mélange des acides sulfurique et

azotique, on introduit le liquide fractionné dans une série de petits flaçons que l'on place, pour les refroidir, dans un baquet plein d'eau; puis on ajout peu à peu dans chaque flacon la quantité de glycé rine nécessaire. Si, par un défaut de précautions, u des flacons vient à s'échauffer et fournit des vapeu rutilantes, il suffit d'en jeter rapidement le conten dans l'eau; on évite ainsi tout danger.

Ce procédé offre une grande sécurité, mais il peut servir à la préparation rapide d'une gran quantité de nitroglycérine.

Essais de fabrication au moyen du nitrate de po tasse, de l'acide sulfurique et de la glycérine. — 1° (a mélangé du nitrate de potasse ou de soude avec l'acide sulfurique, dans les proportions que no avons indiquées pour la préparation de l'acide az tique, et on y a ajouté de la glycérine. Il s'est p duit une forte élévation de température et on n' tint qu'une très-faible quantité de nitroglycérine.

2° Glycérine broyée avec de l'azotate de pota et additionnée d'acide sulfurique. Il y a eu écha fement comme dans le cas précédent et product de quelques gouttes de nitroglycérine.

3° Au lieu de verser l'acide sulfurique sur le lange, on a procédé inversement. Même résultat.

Dans ce cas, le mélange reste liquide, tandis dans les deux autres expériences il devenait t épais, ce qui rendait le brassage difficile à opérer

Dans ces essais, nous n'avons pas eu de vap l'acide hypoazotique, même quand la tempéra issai 40 degrés.

Si on chauffe le nitrate avec l'acide sulfuri

jusqu'à dissolution, le mélange refroidi peut servir à préparer la nitroglycérine. Le rendement obtenu est insuffisant.

Nous n'avons obtenu que des résultats très-peu satisfaisants en mélangeant successivement les deux acides avec la glycérine.

La nitroglycérine se dissout en se décomposant dans un excès d'acide sulfurique à 66 degrés, ainsi que dans l'acide azotique fumant; elle se dissout aussi quand on l'agite avec un excès du mélange des acides qui servent à sa préparation. En présence d'une petite quantité d'eau, il se forme un trouble qui disparaît ensuite. On voit donc que si les proportions de glycérine et d'acides ne sont pas rigoureusement déterminées, le rendement pourra subir une importante diminution.

Nous avions remarqué à plusieurs reprises, en employant les proportions indiquées dans les mémoires qui traitent de la nitroglycérine, qu'à un certain moment de l'opération, de nouvelles additions de glycérine n'amenaient plus d'élévation notable de température. Du reste, on peut s'assurer par le calcul que la quantité d'acide azotique indiquée dans ces mémoires était insuffisante pour transformer toute la glycérine en produit nitré. En prenant cette remarque pour point de départ, nous avons pu déterminer exactement les proportions que l'on doit adopter. On introduisit goutte à goutte la glycérine dans un poids connu du mélange des acides (1 partie d'acide azotique fumant pour 2 parties d'acide sulfurique à 66 degrés). Cette addition se faisait assez lentement pour que la température ne dépassât pas

30 degrés. Lorsque le thermomètre n'indiqua pl
d'échauffement, on arrêta l'opération. Après quelqu
instants de repos, on décanta soigneusement la nitr
glycérine surnageant et on ajouta au mélange aci
une nouvelle quantité de glycérine. Cette additi
fut sans résultat. Connaissant le poids total de
glycérine et celui qui reste après l'opération, on s
exactement par différence la quantité de glycéri
qui peut se transformer en produit nitré en présen
du poids de mélange acide employé.

C'est ainsi que nous avons pu déduire les nomb
suivants :

Glycérine à 31 degrés	380	parties.
Acide azotique fumant à 50 degrés. .	1000	—
Acide sulfurique à 66 degrés (1). . .	2000	—

Le rendement en nitroglycérine est de 760 gra
mes, soit 200 pour 100 du poids de glycérine e
ployé. Le rendement théorique serait de 246 pour 1(
Nous devons ajouter plusieurs remarques à ce (
précède :

1° Quand on augmente ou qu'on diminue les p
portions d'acide sulfurique, le rendement est moind

2° Si on emploie l'acide azotique dans des prop
tions inférieures à celles que nous avons indiqué
le rendement diminue, bien qu'il ressorte du cal
théorique que dans le nombre que nous avons a
mis, une partie de l'acide azotique, soit 36,8 pour 1

(1) On peut aussi employer l'acide de Saxe, qui augmente
peu le rendement, mais son prix est trop élevé pour qu'il
d'une application usuelle.

de son poids, n'intervient pas d'une manière effective dans la constitution de la nitroglycérine (1).

M. Berthelot avait déjà indiqué qu'on pouvait augmenter le rendement en employant une plus forte proportion d'acide azotique que celle qui était indiquée dans les mémoires auxquels nous avons fait allusion.

3° Nous n'avons pas constaté la présence d'acide oxalique dans les liquides. En employant un excès de glycérine, soit 500 grammes, et en calculant, d'après la quantité de nitroglycérine produite, la proportion de glycérine correspondante, on retrouve sensiblement le nombre auquel nous nous sommes arrêté en observant l'élévation de température à chaque addition.

Préparation rapide de la nitroglycérine.

Procédé de laboratoire. — Dans la méthode suivante, que nous avons adoptée, le peu de temps de contact entre la glycérine et les acides ne permet pas à la température de s'élever au point de modifier la réaction.

On verse dans un verre à expérience 100 grammes du mélange acide, puis on laisse couler lentement sur la paroi intérieure 16gr,6 de glycérine à 31 degrés. La glycérine se répand à la surface du mélange

(1) Dans la préparation de nitroglycérine, il se forme un produit secondaire encore peu étudié. D'après nos recherches, ce produit, qui est soluble dans l'eau, attire rapidement l'humidité, renferme de l'azote et fournit un précipité en présence d'une dissolution alcoolique d'acétate de plomb.

acide, et on peut la laisser ainsi pendant plusieurs heures sans qu'il se produise aucune réaction. Celle-c ne se manifeste qu'au moment où on agite brusquement le tout avec une baguette en verre; cette agitation ne doit avoir qu'une durée de quelques secondes. On verse alors rapidement le contenu du verre dans un vase plein d'eau, et la nitroglycérin se précipite. Dans ces conditions, l'opération s'accomplit d'une manière si rapide, que la température n'a pas le temps de s'élever au point où commence l décomposition.

Dans ce cas même, si l'agitation est suffisante, e si toute la quantité de glycérine a été transformée e produit nitré, l'action de la chaleur n'aurait pou résultat que de faire diminuer le rendement, en rai son de l'attaque de la nitroglycérine par les acide libres.

On peut encore verser brusquement la glycérin dans le mélange des acides, à la condition d'agite immédiatement.

D'après les renseignements qui nous sont parvenu sur ce sujet, il y a quelques années, le procédé, employé dans plusieurs usines d'Allemagne, est le mêm que celui de M. Kopp, avec certaines modificatio dans la disposition générale. Ce procédé, qui no paraît le plus sûr, fournit d'ailleurs le plus gran rendement. Les appareils dont on se sert consiste en cuves cylindriques dans lesquelles on place u vase de même forme, en grès ou en tôle plomb d'un diamètre plus petit, et destiné à recevoir le m lange des acides. Le refroidissement s'obtient à l'ai de l'eau qui circule entre les deux cylindres, et d'u

serpentin de plomb à large surface, qui plonge dans les acides et qui est traversé par un courant d'eau rapide.

Un thermomètre, dont le réservoir a la même hauteur que le liquide, indique constamment la température du mélange, qui ne doit pas dépasser 25 à 30 degrés. Un agitateur à palette en plomb permet, pendant tout le temps de l'opération, d'effectuer le mélange des acides avec la glycérine, qui s'écoule par un filet continu.

On pouvait traiter ainsi 30 à 40 kilogrammes de glycérine à la fois. L'action terminée, on attendait que le produit se réunît à la partie supérieure du récipient, et l'on décantait successivement la nitroglycérine et les acides.

Dans la disposition qui précède, on pourrait remplacer le thermomètre ordinaire par les thermomètres électriques analogues à ceux que M. Bianchi a construits pour cet usage pendant le siége de Paris.

Ces thermomètres sont formés d'un réservoir ordinaire rempli de mercure et surmonté d'une tige dans laquelle plongent deux fils de cuivre isolés par une enveloppe de soie et correspondant à une sonnerie électrique. Quand la colonne de mercure rencontre les extrémités du fil conducteur, le circuit se ferme et la sonnerie prévient l'opérateur que le thermomètre atteint la température pour laquelle l'instrument a été réglé. Dans le cas spécial de la préparation de la nitroglycérine, où la température ne doit pas dépasser 30 degrés, les fils, une fois placés, sont soudés à la tige du thermomètre, que l'on ferme à la partie supérieure.

Nous avons pensé que pour des opérations analogues on pourrait employer une autre disposition, consistant en un thermomètre à large section dans lequel le mercure entraînerait avec lui un aimant; celui-ci, comme dans le flotteur de machine à vapeur imaginé par MM. Thuillier-Pinel, ferait mouvoir un index en fer doux appliqué contre la surface de la tige et dont la rencontre avec les deux fils conducteurs déterminerait le mouvement de la sonnerie électrique. La hauteur des fils servirait à régler l'appareil.

Quel que soit le procédé de fabrication employé, la nitroglycérine renferme une notable quantité d'acides libres, qu'on enlève difficilement par les lavages. On peut l'en débarrasser par un contact plus ou moins prolongé avec une solution de bicarbonate de soude, avec de la craie en poudre ou du carbonate de baryte (1).

La nitroglycérine, dans ces conditions, se présente sous la forme d'un liquide laiteux renfermant une certaine quantité d'eau qui rend sa détonation plus difficile.

On la dessèche industriellement en la soumettant pendant quelques heures à une température de 30 degrés environ. L'eau se réunit à la surface et l'on peut par décantation isoler la nitroglycérine, devenue limpide et suffisamment déshydratée.

Son transport, dans les opérations subséquentes,

(1) Dans la fabrication de la dynamite, on ajoute fréquemment à la silice une petite quantité de carbonate de chaux qui satur[illegible] [illegible]es *libres* et prévient toute décomposition ultérieure.

devra toujours avoir lieu dans des vases en gutta-percha, qui ne s'attaquent pas sous l'influence des acides et donc le choc ne peut déterminer l'explosion de la nitroglycérine.

PROPRIÉTÉS

La nitroglycérine, obtenue par l'un ou l'autre de divers procédés mentionnés plus haut, est douée de propriétés suivantes :

A la température ordinaire, elle se présente sous forme d'un liquide huileux et incolore, si elle pr vient d'une glycérine blanche. Une glycérine bru donne un produit nitré de même couleur.

La nitroglycérine est inodore; sa saveur est d bord sucrée, puis légèrement brûlante. Sa densité de 1.60. Lorsqu'on l'a débarrassée, au moyen de vages, des acides qui ont servi à la préparer, elle laitouse et renferme 3 pour 100 d'eau environ. peut la déshydrater en employant le chlorure de c cium cristallisé, ou en la plaçant pendant quelq heures sous la cloche d'une machine pneumatiq en présence d'acide sulfurique concentré. On p encore se servir du chlorure de calcium fondu ou carbonate de potasse; mais, dans ce cas, on doit év un contact prolongé avec ces corps alcalins, qui ex cent une action décomposante sur la nitrogly rine (1).

La nitroglycérine hydratée devient limpide bout de quelques semaines de repos, la presque t

(1) Lorsque la nitroglycérine légèrement acide est mise contact pendant deux jours avec le chlorure de calcium fo qui a une réaction fortement alcaline, il se produit un dég ment de chlore et le produit s'altère.

lité de l'eau se séparant peu à peu et remontant à la surface.

La nitroglycérine est soluble en toutes proportions dans l'éther et l'alcool méthylique (esprit de bois). Dans l'alcool à 36 degrés, sa solubilité, qui est d'abord faible, augmente progressivement avec la température. Par le refroidissement l'excès se précipite. L'eau sépare la nitroglycérine de sa solution méthylique et alcoolique.

La nitroglycérine dissoute dans l'esprit de bois se conserve plusieurs années sans altération, même lorsqu'elle présente une réaction acide. Néanmoins il est difficile, par de nombreux lavages avec l'eau distillée, de la débarrasser entièrement de l'esprit de bois, à moins d'employer ce dernier à l'état de pureté. Vers 100 degrés la nitroglycérine est légèrement volatile sans décomposition. On peut s'en assurer en la maintenant à cette température pendant six à huit jours, au moyen d'un bain-marie, et en recouvrant d'un entonnoir en verre le vase qui la renferme. En recueillant avec précaution la partie qui s'est condensée sur les parois de l'entonnoir, on peut vérifier que sa composition et ses propriétés n'ont pas changé.

La tension de sa vapeur dans le vide a été trouvée par M. Lorin, de 5 millimètres à 15 degrés; de 27 millimètres à 87 degrés; de 30 millimètres à 100 degrés.

Soumise pendant plusieurs heures à un froid de 15 degrés, elle s'épaissit sans se congeler, tandis qu'à une température de zéro maintenue pendant un certain temps (vingt-quatre à quarante-huit heures), elle se prend en masse cristalline.

M. L'Hôte a pu obtenir des cristaux aiguillés très-

nets en laissant évaporer lentement à une basse température une solution de nitroglycérine dans l'éther. La nitroglycérine gelée ne reprend sa fluidité qu'au bout de longtemps, quand on la soumet à une température de + 8 à + 10 degrés.

Un excès d'acide nitrique fumant, ou d'acide sulfurique à 66 degrés la décompose à froid.

L'acide sulfurique de Saxe agit de même.

L'acide azotique ordinaire à la température de 50 degrés décompose aussi la nitroglycérine; l'eau régale la dissout rapidement en l'altérant.

En versant dans une faible quantité d'eau la nitroglycérine dissoute dans l'acide azotique fumant, on obtient un trouble qui disparaît en présence d'un excès d'eau. Si, au contraire, on ajoute l'eau en petite quantité dans le mélange acide, la température s'élève et le liquide ne se trouble pas.

Dans les deux cas, le liquide saturé exactement par la potasse, ou par l'acétate neutre de plomb ne fournit pas de précipité.

Abandonnée au contact d'une solution concentrée de soude, la nitroglycérine se colore en brun avec formation de nitrate. L'ébullition active cette réaction.

La nitroglycérine pure, à la température ordinaire, ne se décompose pas, même après plusieurs années.

Néanmoins, sous l'influence prolongée d'une température élevée de 100 à 120 degrés, le produit devient parfois acide; à partir de ce moment, la décomposition se continue.

La nitroglycérine, incomplétement débarrassée des acides qui ont servi à sa préparation, peut se dé-

composer à la longue en perdant ses propriétés explosives.

La glycérine à 28 ou à 31 degrés donne un produit nitré qui présente toujours les mêmes propriétés et la même composition.

Plusieurs auteurs ont annoncé que la nitroglycérine détonait à 180 degrés. Nos premiers essais paraissant en désaccord avec cette assertion, nous avons construit un appareil dont l'idée est due à M. Leygue, et au moyen duquel nous avons pu établir le tableau suivant, indiquant les diverses modifications subies par la nitroglycérine à différentes températures.

A 185 degrés.		Ebullition, volatilisation avec dégagement de vapeurs jaunes.
194	—	Volatilisation lente.
200	—	Volatilisation rapide.
217	—	Déflagration violente.
228	—	Déflagration vive.
241	—	Détonation difficile.
257	—	Détonation très-nette et violente.
267	—	Détonation faible.
287	—	Détonation faible avec flamme.

Au rouge sombre, la nitroglycérine prend l'état sphéroïdal et se volatilise sans détonation.

Appareil servant à déterminer la température d'explosion des corps détonants (1).

L'appareil que nous avons employé est analogue à celui dont se servait M. Despretz pour mesurer la conductibilité des métaux pour la chaleur. Il se com-

(1) E. Leygue et P. Champion, *Comptes rendus de l'Académie.*

pose d'une barre prismatique ou cylindrique en cuivre rouge, graduée en millimètres, d'une épaisseur de 25 millimètres environ et d'une longueur de 50 à 60 centimètres. De 10 en 10 centimètres se trouvent des cavités que l'on remplit d'huile ou d'alliage d'Arcet et dans lesquelles plongent des thermomètres dont le réservoir doit se trouver complétement immergé. Au moyen d'une source de chaleur constante on porte l'extrémité de la barre à une température élevée. Un écran interposé entre les thermomètres et la source de chaleur empêche l'influence du rayonnement. Le régime ne s'établit guère qu'au bout de plusieurs heures, ce dont on s'assure par la lecture des thermomètres.

D'après la formule établie par Fourier dans ses remarquables travaux sur la chaleur, $\frac{T_1+T_3}{T_2}=K$ constante pour une même barre et une même source de chaleur; T_1, T_2, T_3 représentant les températures simultanées de trois points équidistants. En déterminant exactement cette constante par une série d'expériences dans lesquelles on fait varier la position des thermomètres, on peut déduire d'autres valeurs intermédiaires de T. En effet, on a, d'après la formule donnée :

$$T_3 = KT_2 - T_1 \text{ et } T_n = KT_{n-1} - T_{n-2} \text{ (1)}.$$

On construit graphiquement une courbe dans laquelle les ordonnées représentent les températures, et les abscisses les distances égales qui séparent les

(1) Cette loi n'avait été établie que pour des températures peu élevées. Nous l'avons vérifiée jusqu'à 350 degrés.

thermomètres. Il est facile alors, à l'aide de cet appareil, de déterminer exactement les températures auxquelles les corps détonants éprouvent des modifications, ou se décomposent avec explosion. Il suffit en effet de poser sur la barre, chauffée ainsi que nous l'avons dit, une faible quantité de la substance qu'on expérimente. Par tâtonnements on détermine quel est le point de la barre le plus éloigné de la source de chaleur sur lequel le corps subit la modification voulue.

Ce résultat une fois obtenu, on élève une perpendiculaire au point correspondant de l'axe des X. La longueur de cette ordonnée jusqu'à la rencontre de la courbe indique la température cherchée.

Les résultats qu'on obtient au moyen du procédé que nous venons d'indiquer diffèrent notablement de ceux auxquels on arrive en suivant la méthode généralement employée, c'est-à-dire en projetant la substance explosive à la surface d'un bain métallique dont on élève graduellement la température. Ce dernier procédé offre deux causes d'erreur : 1° la température du bain métallique n'est pas uniforme et elle varie notablement de la surface à la partie inférieure ; 2° la substance détonante, avant d'atteindre la température d'explosion, reste soumise pendant un certain temps à une forte chaleur, qui amène un commencement de décomposition pouvant influencer le résultat.

A l'aide de cette méthode, nous avons déterminé les nombres suivants.

Tableau représentant les températures des déto ou d'inflammation de quelques corps explos

Poudre de capsules de chassepots.	
Fulminate de mercure.	
Poudre formée d'un mélange de 1 partie de chlorate de potasse et 1 de soufre.	
Pyroxile d'Abel	
Coton-poudre.	
Inflammation du soufre à l'air.	
Nitroglycérine (détonation)	256
Sulfure d'antimoine. 1 } Chlorate de potasse. 1 } détonation	
Poudre de chasse.	
Poudre à canon.	
Picrate de mercure. } — de plomb. . } — de fer.. . . } détonation.	
Poudre au picrate pour torpille (Designolle). } Safran artificiel . . . . } .	
Acide picrique, picrate de magnésie. . . } Picrate d'ammoniaque, picrate de potasse. } . .	
Poudre à mousquet au picrate.	
Poudre à canon vive au picrate.	

Le choc d'un marteau sur quelques gou nitroglycérine placées sur une enclume une surface de pierre dure provoque une explosion.

On arrive au même résultat au moyen d'un contenant quelques décigrammes de poudre d'autres composés explosifs tels que le fulmi mercure renfermés dans de petits récipients résistance assure l'explosion.

La nitroglycérine gelée détone aussi sous

mes influences. Mais celles-ci doivent accroître d'intensité en raison inverse de la température.

Sous l'action d'un corps enflammé, la nitroglycérine brûle avec une flamme bleu-verdâtre peu éclairante. L'approche d'un corps en ignition produit le même résultat. L'étincelle électrique isolée est sans action sur elle, ainsi que nous avons pu le vérifier dans de récentes expériences faites à l'aide de la bobine et des batteries puissantes que M. Ruhmkorff, avec son obligeance habituelle, a bien voulu mettre à notre disposition.

Dans ces expériences, un fragment de coton imprégné de nitroglycérine a été soumis à des étincelles obtenues à l'aide de la machine électrique à condensateurs : la nitroglycérine s'est enflammée sans détoner.

Nous avons obtenu les mêmes résultats avec une série d'étincelles d'induction.

Nous ne voudrions pas conclure de là, ainsi que l'ont fait quelques savants, que la foudre serait sans action sur cette matière explosive, les conditions de choc et de température n'étant pas comparables à celles de nos essais.

Nous ajouterons à ce qui précède le mémoire remarquable publié par M. Abel sur l'action de la chaleur et de l'électricité sur la nitroglycérine.

Action de la chaleur et de l'électricité (1).

« Le corps obtenu en traitant la glycérine par l'acide azotique, corps qui est connu sous le nom de

(1) *Annales de physique et de chimie.*

nitroglycérine ou glonoïne et qui présente sous le rapport des propriétés détonantes quelque analogie avec le chlorure d'azote, ne semble être susceptible que de deux variétés distinctes dans son mode de changement d'état. Si l'on soumet à l'influence d'une source de chaleur suffisamment intense une portion de la masse liquide, on obtient à l'air libre une inflammation et une combustion graduelles, que n'accompagne aucune explosion. Il arrive même, lorsqu'on met la nitroglycérine à l'abri du contact de l'air, que l'on rencontre une véritable difficulté pour faire naître et développer avec certitude la force explosive à l'aide d'une source de chaleur ordinaire. Mais si l'on soumet la matière à un choc brusque, comme celui d'un marteau vigoureusement frappé sur une surface dure, on obtient une explosion accompagnée d'une détonation violente, la nitroglycérine se comportant dans ce cas absolument comme la poudre-coton. Il est à remarquer toutefois que la seule portion du liquide qui détone, est celle qui correspond exactement aux deux surfaces momentanément rapprochées par le choc. L'action du marteau sur l'enclume isole si bien une portion de la masse, que la décomposition instantanée de cette portion ne peut se propager, ou faire détoner dans les mêmes conditions les parties voisines exposées au contact de l'air. Le même phénomène se reproduit, du reste, pour tout composé ou mélange explosible soumis à un choc violent, et la communication de l'explosion aux parties environnantes est d'autant plus difficile que la substance est plus susceptible d'une décomposition explosive instantanée.

« Les difficultés pratiques et les incertitudes qu'ont rencontrées les premières expériences tentées pour développer soit par l'action directe de la flamme, soit par l'approche d'un corps d'une haute température, la force explosive de la nitroglycérine, ont semblé dès le début rendre irrévocablement impossible toute application usuelle des propriétés fulminantes de ce corps. On eut beau renfermer le liquide dans des enveloppes résistantes, telles que les projectiles creux ou fourneaux de mine fortement bourrés, les résultats n'offrirent rien de concluant, jusqu'au jour où M. Alfred Nobel, dans ses recherches persistantes sur ce nouvel agent explosif, arriva par hasard à découvrir une méthode qui permet de développer la force explosive presque avec certitude. M. Nobel pensa d'abord que la poudre à canon pouvait servir avantageusement de véhicule à la nitroglycérine. Il humecta des grains de poudre avec ce liquide et il remarqua que le pouvoir destructeur de la poudre se trouvait ainsi notablement accru, lorsque l'explosion avait lieu en vases clos et sous l'action des moyens ordinaires. Les efforts subséquents de M. Nobel pour employer la nitroglycérine seule reposèrent sur une donnée fixe ; il fut évident pour lui, que s'il parvenait à porter une partie de la masse liquide à la température voulue pour déterminer une décomposition partielle, mais violente, l'explosion initiale se communiquerait forcément à une quantité quelconque de la même manière et entraînerait une explosion générale.

« Je n'ai jamais réussi à faire détoner la nitroglycérine en la mettant simplement en contact avec un

corps enflammé ou incandescent, mais les expériences suivantes indiquent de quelle manière une source de chaleur peut déterminer l'explosion de cet agent chimique. On plongea d'abord dans la nitroglycérine, contenue dans un vase de verre, un morceau de fil de platine très-fin attaché aux extrémités de deux fils de cuivre isolés qui communiquaient eux-mêmes avec les deux pôles d'une pile de Bunsen composée de cinq forts éléments. On introduisit après cela dans le circuit un second fil de platine semblable à celui qui était plongé dans le liquide. On compléta enfin le circuit par l'insertion d'un long fil de platine rattaché par une de ces extrémités à l'un des fils conducteurs et par l'autre à la pile. On réduisit ensuite progressivement la longueur de ce dernier fil, ce qui atténuait la résistance au passage du courant jusqu'au point où le fil non immergé commença à fondre. La nitroglycérine ne prit pas feu, ne détona point et le fil immergé résista à la fusion parce que la chaleur développée fut aussitôt absorbée que produite, grâce à la masse du liquide ambiant. Cette première expérience faite, on remplaça le fil immergé par un fil de beaucoup plus gros diamètre; on supprima le fil non immergé, mais l'on conserva, comme moyen de réduire graduellement la résistance au passage du courant, un long fil de platine de la même grosseur que le fil immergé. Lorsque le premier ne mesura plus que 5 pouces de long, une vive incandescence se manifesta, et se maintint pendant une minute environ, sans que le fil immergé rougît, et sans que le liquide présentât aucun signe de décomposition. On enleva ensuite le long fil de

platine, ce qui eût pour résultat de concentrer sur le fil immergé toute la puissance calorifique de la pile. Après une minute environ, le liquide commença à prendre une teinte brunâtre rappelant celle d'une dissolution ferrugineuse chargée de vapeurs nitreuses; la couleur devint plus foncée d'instant en instant, sans que cependant l'on aperçût aucune vapeur rougeâtre à la partie supérieure du vase, jusqu'à ce qu'enfin au bout de quatre vingt-dix secondes environ, la nitroglycérine fit explosion avec une forte détonation.

« *Action de l'étincelle électrique.* — On tenta ensuite diverses expériences pour déterminer à l'aide de l'étincelle électrique, l'explosion de la nitroglycérine. On plongea d'abord dans le liquide les extrémités libres de deux fils isolés, et après les avoir rapprochés, on essaya de faire passer les décharges en employant la bouteille de Leyde. La force isolante du liquide empêche le passage de l'étincelle. Les fils furent ensuite disposés de manière à effleurer la surface du liquide ; de fortes étincelles passèrent, mais elles ne produisirent aucun effet. On employa enfin une bobine de Ruhmkorff renforcée d'une bouteille de Leyde et entre les deux pôles qui effleuraient la surface de la nitroglycérine, on fit passer sans interruption une série d'étincelles qui agitaient légèrement le liquide. Cette fois, après quelques secondes, la surface commença à noircir ; au bout de trente secondes l'explosion se produisit.

« Ces expériences prouvent jusqu'à l'évidence que la nitroglycérine ne peut faire explosion sous l'influence de l'électricité, ou sous l'action directe de

toute autre source de chaleur, à moins que l'action ne soit assez puissante ou assez prolongée pour déterminer la décomposition d'une portion du liquide. L'effet partiel obtenu, le travail de décomposition se poursuit rapidement par le fait de l'accumulation de la chaleur (surtout si l'on prolonge l'action d'une source extérieure) jusqu'au moment où la décomposition est assez avancée pour que l'explosion se produise (1).

(1) En étudiant récemment l'action de la chaleur sur la nitroglycérine, je me suis aperçu qu'une petite quantité (1 ou 2 gouttes) pouvait atteindre sans faire explosion la température de 193 degrés centigrades, à la condition de ne développer que lentement et progressivement l'action de la chaleur. Le liquide se décompose peu à peu au point de perdre toute puissance explosive. J'ai pu même, sans rencontrer l'explosion, entretenir pendant quatre jours une quantité plus considérable enfermée dans un tube scellé à la température de 100 degrés. Le liquide avait pris pendant l'opération une couleur brune qui disparut par degrés, et complétement après le refroidissement. On ouvrit le tube au bout de quelques jours, et l'on constata qu'il n'y avait pas la moindre pression de gaz et que le liquide ne présentait aucune trace d'acidité. Dans cette expérience, la décomposition, dont le résultat est probablement le dégagement d'une certaine quantité d'oxyde d'azote, et qui a pour origine la permanence de la température de 100 degrés, aurait marché d'un pas rapide, comme dans les expériences faites avec l'électricité, si l'on avait poussé l'action de la chaleur jusqu'au point où son accumulation dans la masse liquide en nécessite l'explosion.

« La différence que l'on observe dans la manière de se comporter de la nitroglycérine et du coton-poudre sous l'action d'une source de chaleur (différence étudiée, abstraction faite des degrés de chaleur auxquels l'explosion se produit) provient évidemment en grande partie de ce que la constitution chimique des deux substances n'est point la même. Le contact d'un corps en ignition avec la nitroglycérine a pour effet, eu égard à l'état

« M. Nobel a décrit différents procédés à l'aide desquels on obtient ce qu'il appelle l'*explosion initiale* d'une portion d'une charge de nitroglycérine. Les deux moyens qui réussissent le plus sûrement sont l'inflammation d'une petite quantité de poudre renfermée dans une enveloppe et l'explosion d'une forte capsule fulminante. Dans l'un et l'autre cas, la matière destinée à produire l'explosion doit être ou plongée dans le liquide, ou placée immédiatement au-dessus de la surface. Ces deux procédés, qui reposent sur l'emploi d'un agent chimique explosible lui-même, ne semblent pas pour M. Nobel différer de plusieurs autres moyens qui consistent, sans exception, à soumettre certaines parties de la nitro-

liquide de cet agent chimique, de répartir dans toute la masse la chaleur empruntée à la source. La distribution s'opère assez rapidement pour rendre difficile l'inflammation du liquide, qui est par lui-même médiocrement volatil. C'est à tel point, que l'on peut, sans obtenir au début d'autre effet que l'inflammation, toucher le liquide avec un corps fortement chauffé, tel qu'un fil ou une baguette de fer rougi, ou même un morceau de bois enflammé. Il ne se produit, au premier moment, qu'une combustion sans explosion, parce que pour la masse liquide, tout aussi bien que dans les couches immédiatement en contact avec la surface enflammée, l'élévation de température est trop lente pour provoquer la décomposition soudaine et l'explosion concomitante..

« Si l'on développe, au contraire, la tendance du liquide à la désagrégation moleculaire, en produisant la décomposition lente de tout ou partie de la masse, il en résulte un trouble de l'équilibre chimique, qui prédispose la nitroglycérine à subir l'influence de toute action extérieure, telle que l'application directe de la chaleur, par exemple. Dans cet état, on obtient la décomposition subite et l'explosion violente, même en employant une puissance calorifique qui dans les conditions ordinaires serait complétement insuffisante pour produire de semblables effets. »

[illegible] à une haute tempé-rature. Aussi [illegible] dans la des-cription [illegible] les difficultés qu'il a rencontrées [illegible] l'explosion sous la simple [illegible] ou même [illegible]. M. [illegible] l'effet [illegible] que la chaleur [illegible] par celle [illegible] que, d'une part, [illegible] l'explosion violente [illegible] les préparations de [illegible] par le moyen de la détonation d'une petite charge de pou-dre ou d'autre substance explosive, tandis que si l'on [illegible] M. No-bel, [illegible] on ne parvient à déterminer l'explosion que dans des conditions parti-culières. Ne doit-on pas voir une différence marquée dans le mode d'action des deux espèces d'agents d'in-flammation, et ne semble-t-il pas naturel de supposer que la chaleur [illegible] par le changement d'état chimique de la poudre ou du fulminate n'est pas la seule cause agissante dans l'explosion du liquide?

[illegible] d'expériences qui ont montré de manière à dissiper tous les doutes, que, dans le cas où le liquide fait explosion sous l'ac-tion d'une petite détonation, l'explosion générale est due, dans une certaine mesure, à l'effet mécanique de la détonation même. Il est établi aujourd'hui que cette cause, négligée jusqu'alors, peut à elle seule dé-terminer l'explosion de la nitroglycérine, indépen-damment de toute action directe due à la chaleur

que développe la combustion de la poudre ou du fulminate. »

A l'appui des expériences remarquables de M. Abel sur l'influence du mode d'inflammation de la poudre, nous citerons une disposition d'engins de guerre adoptée en 1725 au siége de Cahors par le roi de Navarre. Cette disposition est indiquée dans les mémoires ou *Economies royales de Henry le Grand*, par Maximilien de Béthune, duc de Sully (Amsterdam, 1725) (1).

Ces documents, peu connus ou mal interprétés jusqu'à présent, auraient pu être d'un utile concours dans les travaux entrepris sur la force explosive de la poudre.

On chargeait avec de la poudre de guerre tassée un cylindre épais de bronze fermé à une extrémité; à l'aide d'un bâton placé dans l'axe du cylindre on ménageait un espace vide dans toute la longueur de la charge; cet espace était ensuite rempli de poudre fine très-vive; on suspendait ce cylindre perpendiculairement à l'obstacle qu'on voulait renverser, et on enflammait la poudre vive au moyen d'une lumière analogue à celle des canons. Le feu, communiqué pour ainsi dire instantanément à toute la masse de poudre, amenait une violente explosion qui brisait les murailles ou portes contre lesquelles l'appareil était disposé.

Le général Picot, dans ses études sur la guerre de siége (2), signale l'effet produit par l'explosion d'une faible quantité de fulminate de mercure renfermée

(1) Louis Figuier, *Armes de guerre*.
(2) *Mine*, IIIe partie, 1854, p. 147.

dans une enveloppe résistante au sein d'une masse de poudre. Ses expériences, antérieures au mémoire qui précède, ainsi que son opinion sur la question, méritent d'être signalées. Nous reproduisons textuellement ce qui y a trait.

« On ajoute au bout d'une mèche Bickford (ou autre) une bombette en cuivre repoussée, de 11 millimètres de diamètre, renfermant 1 gramme d'un composé fulminant semblable à celui des capsules; un ruban, rendu incombustible aussi, enveloppe la partie de la fusée coiffée de la bombette qui pénètre dans la charge et contribue à la solidité de l'assemblage. Le prix de cette bombette avec son ajustement est de 7 centimes.

« Un usage dejà fréquent desdites bombettes éclatant au centre de la charge des pétards démontre qu'il permet de réduire d'un tiers la consommation de la poudre, ou qu'avec des charges égales on obtient un effet plus considérable qu'avec les anciennes communications de feu.

« On est fondé à croire que l'emploi de cette fusée avec bombettes dans les mines militaires augmenterait notablement les effets des fourneaux, tels que les fourneaux surchargés dans les puits d'attaque, ceux des fougasses, pierriers, et en général de tous les fourneaux à bourrage incomplet, surtout les fourneaux à air libre, où il est si important d'éviter autant que possible la dispersion d'une partie de la charge, causée par une inflammation trop peu rapide. Il serait fort intéressant de constater l'effet de l'explosion dans un canon d'une gargousse de poudre, environ du poids du boulet, au centre de laquelle

aboutirait l'extrémité d'une fusée de sûreté, à enveloppe incomplète, terminée par une bombette; de vérifier si cette explosion serait assez violente pour mettre la pièce hors de service quand la volée est bouchée par un tampon d'argile. Si ce résultat était obtenu (nous y croyons), on aurait alors un moyen bien simple d'enclouer les canons de l'assiégeant dont une sortie de la garnison se rendrait maîtresse pendant quelques minutes, et cela sans dangers, par suite de la durée de combustion de la fusée de sûreté, quand même l'explosion ferait crever la pièce. »

Le fulminate de mercure et les poudres détonantes composées de différentes substances, telles que le chlorate de potasse additionné de picrate, le sulfure d'antimoine mélangé de chlorate de potasse, etc., n'agissent pas de la même façon sur la nitroglycérine.

Action de diverses amorces fulminantes.

Le fulminate de mercure, employé en quantité suffisante, même à l'air libre, provoque dans presque tous les cas l'explosion de la nitroglycérine.

Il n'en est pas de même avec un grand nombre de composés explosibles dont quelques-uns dégagent cependant une quantité de chaleur supérieure à celle que produit la décomposition du fulminate de mercure.

Ce n'est donc pas la chaleur qui est la cause de la détonation de la nitroglycérine ou de ses dérivés (dynamite), mais, comme l'a dit M. Abel dans ses mémoires dont nous avons reproduit une partie, « c'est l'action mécanique produite par la détonation de

l'amorce qui est la cause réelle de l'explosion à l'air libre du coton-poudre et de la nitroglycérine. » Et ailleurs : « L'explosion violente du coton-poudre et de la nitroglycérine, sous l'influence d'une fusée détonante, doit être attribuée tantôt à l'effet mécanique de la détonation, c'est-à-dire au trouble moléculaire jeté dans les parties les plus rapprochées du siége du choc ou de la commotion, tantôt à la perturbation de l'équilibre chimique qui en résulte, soit de l'instantanéité des commotions d'un certain genre, soit des vibrations causées par la détonation (1). »

M. Berthelot, dans un travail considérable sur la force de la poudre et des matières explosibles (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXI, 21 nov. 1870, p. 715), a publié un grand nombre de documents relatifs à l'étude de la nitroglycérine et de la dynamite. L'importance de ces documents nous engage à les reproduire intégralement, car ils jettent une lumière nouvelle sur ces composés dont on n'avait pu jusqu'alors expliquer les effets terribles.

« *Nitroglycérine*. — 1° La nitroglycérine est réputée la plus énergique des substances explosives. Elle disloque les montagnes, elle déchire et brise le fer, elle projette des masses gigantesques. Malgré de redoutables accidents, l'industrie des Américains, des Suédois, des Anglais et d'autres peuples encore a su tirer parti de ces propriétés extraordinaires. Examinons si elles sont d'accord avec nos théories :

(1) Ne pourrait-on pas rapprocher cette théorie de celle des larmes bataviques dans lesquelles l'équilibre étant rompu sur un point, la masse éclate en poussière en projetant une lueur visible dans l'obscurité. P. C.

« 2° La décomposition de la nitroglycérine peut être représentée par l'équation suivante :

$$C^6H^2(AzO^6H)^3 \text{ ou } C^6H^8O^6, 3(AzO^4)$$
$$= 6CO^2 + 5HO + 3Az + O.$$

« On voit que la nitroglycérine jouit de la propriété exceptionnelle de renfermer plus d'oxygène qu'il n'est nécessaire pour en brûler complétement ses éléments.

« 3° Un kilogramme de nitroglycérine, sous une pression de 76 centimètres et à une température capable de vaporiser l'eau, produit 710 litres $(1 + \alpha t)$ de gaz, 1 litre de nitroglycérine produira davantage, soit 1135 litres $(1+\alpha t)$, à cause de sa densité 1.60. Sous le même poids, la nitroglycérine produit donc trois fois et demie autant de gaz que la poudre ordinaire au nitrate, deux fois autant que la poudre au chlorate. Sous le même volume, elle produit six fois autant de gaz que la poudre au nitrate.

« 4° La chaleur dégagée dans la réaction l'emporte aussi beaucoup. Elle peut être évaluée à 261 000 calories pour un équivalent de nitroglycérine (l'eau étant produite sous forme gazeuse), soit 2 051 000 calories pour 1 litre, 1 282000 pour 1 kilogramme.

« Cette dernière quantité est double de la chaleur dégagée par le même poids de poudre au nitrate, et supérieure d'un tiers à la poudre au chlorate. Ainsi, la nitroglycérine produit sous le même poids trois fois et demie autant de gaz et deux fois autant de chaleur que la poudre au nitrate. La différence entre les effets produits est facile à prévoir.

« Les pressions théoriques sont données par la formule $P^2 = 23^{atm.},2$ (1 000) 1.41.

« 1 kilogramme de nitroglyoérine détonant dans uno capacité égale à 1 litre développera une pression théorique de 243 000 atmosphères, quadruple de celle de la poudre, unc température de 93 400 degrés, et une quantité de chaleur égale à 19 700 000 calories; le travail maximum sera presque triple de celui de la poudre.

« 1 litre de nitroglycérine pèse 1^k,60. En détonant dans une capacité complétement remplie, comme il arrive dans un trou de mine, ou bien quand on opère sous l'eau, cette substance devrait développer une pression de 470 000 atmosphères, huit à dix fois aussi grande que celle produite par le même volume de poudre. La chalour dégagée étant 38 000 000 calories, le travail maximum pourra s'élever à plus de 16 milliards de kilogrammètres, valeur quintuple de celle du travail maximum de la poudre sur le même volume.

« 5° Ces chiffres colossaux ne sont sans doute jamais atteints dans la pratique, surtout à cause des phénomènes de dissociation; mais il suffit qu'on en approche pour expliquer pourquoi les travaux, et surtout les pressions développées par la nitroglycérine, surpassent les effets produits par toutes les autres matières explosibles usitées dans l'industrie. Les rapports que les chiffres signalent entre la nitroglycérine et la poudre, par exemple, s'accordent assez bieu avcc les résultats empiriques observés dans l'exploitation des mines.

« La rupture en éclats du fer forgé, effets que la

poudre ordinaire ne saurait produire, sont de nouvelles preuves de l'énormité des pressions initiales développées par la nitroglycérine.

« 6° Si la nitroglycérine est brisante, cependant elle fracture les roches sans les écraser en menus fragments. Cette propriété s'explique encore par le jeu des phénomènes de dissociation. Les éléments de l'eau et de l'acide carbonique doivent être en partie séparés dans les premiers moments, ce qui diminue les pressions initiales; mais la formation de l'eau et de l'acide carbonique, se complétant pendant la détente, reproduit successivement de nouvelles quantités de chaleur qui régularisent la chute des pressions. La nitroglycérine agira donc pendant la détente à la façon de la poudre ordinaire. Cependant, la dissociation doit être moindre avec la nitroglycérine, parce que les composés formés sont plus simples et les pressions initiales plus fortes.

« Bref, la nitroglycérine réunit les propriétés en apparence contradictoires des diverses matières explosives; elle est brisante comme le chlorure d'azote; elle disloque et fracture les roches sans les écraser, comme la poudre ordinaire, quoique avec plus d'intensité; enfin elle produit des effets excessifs de projection : toutes ces propriétés reconnues par les observateurs peuvent être prévues et expliquées par la théorie.

« 7° Je pourrais montrer encore que l'inflammation provoquée sur un point de la masse est moins dangereuse avec la nitroglycérine qu'avec la poudre au chlorate et même avec la poudre au nitrate, parce que la combustion d'un même poids de matière

élève moins la température des parties voisines, soit à cause du refroidissement produit par le contact des parties liquides ambiantes, soit et surtout à cause de la chaleur spécifique de la nitroglycérine plus que double de celle des poudres au chlorate et au nitrate.

« 8° La théorie des effets produits par la nitroglycérine ne serait pas complète, si nous ne parlions des phénomènes du choc et autres causes capables d'en provoquer la déflagration. Elle est des plus sensibles à cet égard : il suffit de la chute d'un poids tombant de 25 centimètres de hauteur pour déterminer l'explosion de la nitroglycérine (1).

« Mais les circonstances de cette explosion sont très-différentes, suivant que l'on opère par simple choc, par le contact d'un corps en ignition, faible ou vive, ou d'une fusée ordinaire, ou bien encore par le contact d'une amorce au fulminate de mercure. M. Abel a publié à cet égard, sur la nitroglycérine et la poudre-coton, des expériences très-curieuses et qui tendent à établir une grande diversité entre les conditions de déflagration de ces substances, suivant la manière de les faire détoner. Quelque étrange que cette diversité puisse sembler à première vue, je crois cependant que les théories thermodynamiques sont capables d'en rendre compte par une analyse convenable des phénomènes du choc.

« Soit le cas le plus simple, celui d'une explosion déterminée par la chute d'un poids qui tombe d'une certaine hauteur. Tout d'abord on serait porté à attribuer les effets à la chaleur dégagée par la compression due au choc du poids brusquement arrêté.

(1) Ch. Girard, Millot et Vogt, *Comptes rendus*, p. 691.

Mais le calcul montre que l'arrêt d'un poids de quelques kilogrammes, tombant de 25 centimètres ou de 50 centimètres de hauteur, ne pourrait élever que d'une fraction de degré la température de la masse explosive, si la chaleur résultante était répartie uniformément dans la masse entière. Celle-ci ne saurait donc atteindre ainsi la température de 190 degrés nécessaire pour en provoquer l'explosion.

« C'est par un autre mécanisme que la force vive du poids, transformée en chaleur, devient l'origine des effets observés. Il suffit d'admettre que les pressions qui résultent du choc exercé à la surface de la nitroglycérine étant trop subites pour se répartir uniformément dans toute la masse, la transformation de la force vive en chaleur a lieu surtout dans les premières couches atteintes par le choc ; celles-ci pourront être portées ainsi jusqu'à 190 degrés, et elle se décomposeront aussitôt en produisant une grande quantité de gaz. La production de ceux-ci est à son tour si brusque, que le corps choquant n'a pas le temps de se déplacer, et que la détente soudaine des gaz de l'explosion produit un nouveau choc, plus violent sans doute que le premier, sur les couches situées au-dessous. La force vive de ce nouveau choc se change en chaleur dans les couches qu'il atteint d'abord. Elle en détermine l'explosion. Et cette alternative entre un choc développant une force vive qui se change en chaleur, et une production de chaleur qui élève la température des couches échauffées jusqu'au degré d'une explosion nouvelle, capable de reproduire un autre choc, cette alternative, dis-je, propage la réaction de couche en couche dans la

masse entière. La propagation de la déflagration a lieu ainsi avec une vitesse incomparablement plus grande que celle d'une simple inflammation provoquée par le contact d'un corps en ignition, et opérée dans des conditions où les gaz se détendent librement, au fur et à mesure de leur production.

« Ce n'est pas tout : la réaction provoquée par un premier choc, dans une matière explosive donnée, se propage avec une vitesse qui dépend de l'intensité du premier choc, puisque la force vive transformée en chaleur détermine l'intensité de la première explosion, et par suite celle de la série entière des effets consécutifs. Il résulte de là que l'explosion d'une masse solide ou liquide peut se développer suivant une infinité de lois différentes, dont chacune est déterminée, toutes choses égales d'ailleurs, par l'impulsion originelle. Plus le choc initial sera violent, plus la décomposition qu'il provoque sera brusque, et plus les pressions exercées pendant le cours de cette décomposition seront considérables. Une seule et même substance explosive pourra donc donner lieu aux effets les plus divers, suivant le procédé d'inflammation.

« Voilà pourquoi la nitroglycérine et la poudre-coton comprimée produisent chacune des effets si différents, selon qu'on les enflamme à l'aide d'un corps en ignition faible, d'une flamme ou d'une fusée ordinaire, ou bien à l'aide d'une fusée détonante chargée de fulminate de mercure.

« La diversité des effets est moins marquée avec la poudre-coton non comprimée, parce que l'influence du choc initial s'exerce sur une moindre quantité de

matière, et surtout parce que la propagation des réactions successives pour la masse y développe des pressions initiales plus faibles et une transformation moins directe de la force vive en chaleur transmise au corps explosif, à cause de l'air interposé.

« La poudre-coton comprimée elle-même est moins compacte que la nitroglycérine; à cause de sa structure, les pressions dues au choc doivent être sensiblement atténuées par l'existence des interstices; aussi la poudre coton est-elle plus difficile à faire détoner que la nitroglycérine : la nitroglycérine détone par la chute d'un poids tombé d'une moindre hauteur, par l'emploi d'une amorce chargée de poudre-coton, d'un mélange de fulminate et de chlorate, etc., tandis que la poudre-coton ne fait pas explosion sous l'influence de la nitroglycérine ni sous l'influence d'un mélange de fulminate et de chlorate; elle réclame le choc plus brusque du fulminate de mercure pur. Celui-ci, d'ailleurs, est moins efficace s'il est employé à nu que s'il est placé dans une enveloppe, moins efficace dans une mince enveloppe de laiton que sous une enveloppe épaisse de fer-blanc; il est moins efficace encore si l'amorce n'est pas en contact avec la poudre coton. La nitroglycérine elle-même détone moins bien sous l'influence d'une fusée au fulminate, si elle s'est enflammée avant l'explosion du fulminate, l'inflammation préalable ayant pour effet de produire un certain vide entre eux. Tous ces phénomènes, signalés pour la plupart par M. Abel, s'expliquent par la valeur plus ou moins considérable des pressions initiales et par leur développement plus ou moins subit, c'est-à-dire

par les conditions qui règlent la force vive transformée en chaleur dans un temps donné au sein des premières couches de la matière explosive atteintes par le choc.

« La quantité de force vive ainsi transformée dépend donc à la fois de la brusquerie du choc et de la grandeur du travail qu'il peut développer ; ce sont là deux données qui varient d'une substance explosive à l'autre. Par exemple, les amorces les plus convenables ne sont pas toujours celles dont l'explosion est la plus instantanée. M. Abel a reconnu que le chlorure d'azote n'est pas très-efficace pour enflammer le coton-poudre ; l'iodure d'azote, si sensible au moindre frottement, demeure tout à fait impuissant à l'égard de la poudre-coton. Or le chlorure d'azote est précisément l'un des corps explosifs décrits dans cette note qui développent le moins de chaleur, et par conséquent de travail, sous un poids déterminé ; on conçoit donc qu'il faille en employer davantage à titre d'amorce. Quant à l'iodure d'azote, d'après l'analogie tirée des composés iodosubstitués, son explosion doit dégager bien moins de chaleur encore et de travail sous le même poids que le chlorure d'azote. Son impuissance est donc facile à comprendre (1).

« Comparons enfin la nitroglycérine avec la poudre, au point de vue du meilleur emploi d'un poids donné de nitrate de potasse. D'après les équivalents, 303 parties de nitre produisent soit 404 parties de poudre ordinaire, soit 227 parties de nitroglycérine, c'est-à-dire un poids moitié moindre ; mais, en re-

(1) Voir, à l'article *Dynamite*, la théorie de M. Berthelot sur l'emploi de cette poudre brisante.

vanche, cette dernière peut développer, dans les circonstances les plus favorables, une pression huit à dix fois aussi grande que le même volume de poudre et effectuer un travail quintuple.

« Il résulte de ces nombres qu'un poids donné de nitrate de potasse, s'il pouvait être changé atomiquement et sans perte en nitroglycérine, développerait dans un trou de mine, une pression triple et un travail double de celui que fournirait la poudre fabriquée avec le même poids de nitrate. »

Nous ajoutons au travail de M. Berthelot sur la puissance de la nitroglycérine quelques considérations extraites de l'intéressant ouvrage de M. Barbe :

« La pression des gaz dégagés de la nitroglycérine sur chaque moitié de surface d'une enveloppe est ce que j'appellerai la pression théorique maxima de la substance explosive. Ces gaz chauds peuvent vaincre certaines résistances, développer du travail qu'on peut calculer en se basant sur les expériences admises.

« Le tableau suivant repose sur ces calculs et permet de comparer la poudre et la nitroglycérine.

Désignation.	Poudre noire.	Nitroglycérine.
Volume du gaz en centimètres à la température de 0 degré par 1 gramme de substance	200	2 000
Température de la flamme de ces gaz en degrés centigrades.	3300	5200
Pression maxima théorique en kilogrammes par centimètre carré. . . .	4300	26000
Travail maximum théorique en kilogrammètres produit par un kilogramme de substance.	67 000	400000

« Le travail théorique maximum de la nitrogl
cérine équivaudrait donc à six fois celui de la poudr
Cette différence ne peut être admise d'une façon a
solue dans la pratique. Pour l'industriel, tout co
siste dans l'effet utile obtenu.

« L'effet utile produit par un composé explo
dans des conditions déterminées, est soumis à l'i
fluence d'une quantité innombrable de facteurs c
peuvent être divisés en groupes naturellement d
tincts : ceux qui tiennent aux éléments du comp
et ceux qui proviennent de la nature des matéria
qui l'enveloppent.

« Parmi les facteurs du premier groupe, il f
considérer tout d'abord les suivants :

« *a*. Un travail maximum déterminé peut être pı
duit par une masse de gaz à une haute températı
ou par une plus grande quantité de gaz à une te
pérature moins élevée. Des composés explosifs p
vent avoir absolument la même pression théoriq
maxima, le même travail théorique maximum,
agir cependant d'une façon toute différente, si
masse de gaz dégagés et les températures dévelo
pées diffèrent considérablement.

« *b*. La durée du temps nécessaire à l'explosion. I
durées sont extrêmement variables. Robert adn
que le fulmi-coton brûle huit fois plus vite que
poudre, et il est certain que, sous ce même rappo
la nitroglycérine dépasse de beaucoup le cotc
poudre.

« *c*. Comme l'enveloppe contenant le produit e
plosif cède instantanément, il en résulte qu'un a
croissement de volume a lieu avant que la combı

tion soit complète. La pression maxima théorique ne peut jamais être atteinte, et même il y a des pertes de matière explosible. Les produits de la combustion sont donc eux-mêmes fonction de la loi suivant laquelle varie le volume de l'espace dans lequel s'effectue l'explosion.

« Les principaux facteurs du second groupe sont les suivants :

« La conductibilité pour la chaleur, l'élasticité, la durée, la compacité, la forme, etc. Ce sont autant d'éléments qui influent sur l'effet utile des poudres.

« De ce qui précède, il résulte que la pratique seule peut fournir des moyens de comparaison entre deux produits explosifs. »

Produits de la détonation de la nitroglycérine.

Beaucoup d'opinions ont été émises sur la composition des gaz provenant de la détonation de la nitroglycérine. Cette composition n'est pas analogue à celle des gaz qui se dégagent pendant la combustion du produit; il en est de même, du reste, pour la poudre. Il était difficile, en effet, d'obtenir ces gaz à l'abri du contact de l'air, qui aurait changé leur composition. M. L'Hôte résolut la question par une méthode ingénieuse. Nous reproduisons sa note :

Méthode pour déterminer les gaz résultant de l'explosion de la nitroglycérine (1).

« La nitroglycérine employée dans ces expériences a été préparée au moyen de l'acide nitrosulfurique ;

(1) *Comptes rendus*, 1871, 2e semestre, n° 17, t. LXXIII, 23 octobre, p. 1013.

elle a été lavée à grande eau, puis desséchée dans le vide au-dessus de l'acide sulfurique. Ainsi obtenue, elle est incolore ; dissoute dans l'alcool méthylique, elle est complétement neutre à la teinture de tournesol sensible. On sait que la nitroglycérine détone facilement lorsqu'on la frappe avec un marteau sur une enclume ; mais dans cette expérience on ne peut guère se rendre compte de la nature du gaz, et on ne distingue qu'une odeur métallique ; néanmoins, si au lieu de placer directement la nitroglycérine sur l'enclume, on en met quelques milligrammes sur un papier réactif ioduro-amidonné, et si après l'explosion on humecte légèrement le papier réactif, on constate un bleuissement sensible. En détonant à l'air libre, la nitroglycérine donne donc naissance à des produits nitreux.

« Nous avons songé à substituer au choc du marteau le choc produit dans un eudiomètre, lorsqu'on enflamme le gaz de la pile à l'aide de l'étincelle électrique. La première expérience a été tentée dans un eudiomètre de Gay-Lussac, dont les parois présentaient une épaisseur de verre de 13 millimètres. On avait introduit dans l'eudiomètre :

Gaz de la pile.	10 c. c.
Nitroglycérine	6 centigr.

« L'inflammation du mélange tonnant détermina l'explosion de la nitroglycérine, mais l'eudiomètre fut pulvérisé.

« En opérant sur de très-petites quantités de nitroglycérine, les eudiomètres peuvent résister à la force explosive. Nous nous servons d'eudiomètres de

Mitcherlich; que nous fabriquons à la lampe, avec des tubes à analyse organique en verre vert. Le gaz de la pile est préparé par la méthode de Bunsen. La nitroglycérine est introduite à l'aide d'une pipette capillaire, dans de petites perles de verre mince qui contiennent 5 à 6 milligrammes de matière ; la pesée se fait à la balance d'essais.

« On introduit d'abord dans l'eudiomètre 10 centimètres cubes de gaz de la pile, puis la perle de nitroglycérine, et on fait passer l'étincelle électrique. La nitroglycérine détone et fournit un gaz qu'on peut mesurer.

« On remarque alors que le mercure est légèrement bruni à la surface, et contient une petite quantité de nitrate de mercure.

« Le gaz obtenu est incolore et renferme une proportion suffisante de bioxyde d'azote pour être rutilant à l'air. Ce gaz soumis, pour l'analyse, à l'action successive des absorbants, laisse un résidu qui est de l'azote pur.

« En rapportant à 1 gramme de nitroglycérine, on a trouvé :

Gaz mesuré à 0 degré et à pression de $0^m,760$,...294 c. c.

« 100 parties de ce gaz en volume contiennent :

Acide carbonique. . .	45,72
Bioxyde d'azote. . . .	20,36
Azote	33,92
	100,00

« Ainsi, d'après la formule de la nitroglycérine

$C^6H^5O^6\,3(AzO^4)$, 1 gramme de cette substance renferme :

Carbone.	0,158
Hydrogène.	0,022
Oxygène.	0,634
Azote.	0,185
	0,999 »

En transformant par le calcul ces corps en leurs composés correspondants, d'après l'analyse de M. L'Hôte, on obtient :

				Oxygène combiné.
Eau.	0,198.			0,176
Acide carbonique.	0,579.			0,421
Bioxyde d'azote. .	0,069	dont azote	0,032 .	0,037
Azote excès. . . .	0,153	—	0,153 .	0,634
			0,185	

En résumé, 1 gramme de nitroglycérine fournit par le calcul :

	En poids.	En volume.	(Poids du litre) à 0° P = 760
Eau.	0,198		
Acide carbonique.	0,579	293	1,971
Azote	0,153	122	1,343
Bioxyde d'azote. .	0,069	51	1,254
		466 c. c. (1)	

Composition des gaz en centièmes :

	Par le calcul.	Expérience de M. L'Hôte.
Acide carbonique. .	62,8	45,72
Bioxyde d'azote. . .	10,9	20,36
Azote	26,3	33,92
	100,00	100,00

(1) M. L'Hôte a trouvé dans ses expériences, 294 centimètres cubes. Cette différence provient sans doute de la formation d'azotate de mercure signalée par l'auteur.

Effets des gaz produit par l'explosion de la nitroglycérine sur l'économie (1).

« Sur désir exprimé par M. le garde-mine Neimke, à Klausthal (Haz supérieur), j'ai examiné de près l'influence du sautage à la nitroglycérine, sur la santé de deux ouvriers mineurs attachés, du 19 décembre 1866 au 14 février 1867, aux essais de ce genre, et je suis arrivé aux résultats suivants : Ces mineurs, tous deux d'âge moyen et d'une bonne santé, ont eu plusieurs fois recours, pendant ces huit semaines, aux soins du médecin pour des maux de tête, des nausées, pertes d'appétit et fatigue des membres. Ils attribuaient ces souffrances à l'emploi de la nitroglycérine.

« Ils disaient que le malaise commençait après chaque explosion et diminuait progressivement avec le renouvellement de l'air, pour disparaître complétement lorsqu'ils passaient un certain temps au jour. Quand ils ne travaillaient pas, ils se sentaient tout à fait à l'aise, sauf une certaine toux et une fatigue persistante. Quinze jours après la fin des essais, tous les symptômes de malaise avaient disparu sans laisser la moindre trace.

« On est conduit à attribuer ces symptômes morbides à l'action des gaz provenant de l'explosion de la nitroglycérine.

(1) *Journal des mines et usines* de B. Kerl, 1867, n° 48. « Lutte de la poudre et de l'huile explosive. » Rapport du docteur Wuth, d'Altenau.

« Le travail dans une atmosphère viciée par la présence de ces gaz exerce donc une influence fâcheuse sur la santé, mais toute passagère, puisqu'elle cesse par l'afflux d'un air plus riche en oxygène. »

Effets toxiques de la nitroglycérine.

La préparation et le maniement de la nitroglycérine provoquent de violents maux de tête, accompagnés d'un malaise tel que le moindre mouvement occasionne de vives douleurs. Ces symptômes ne se manifestent généralement qu'au bout de plusieurs heures et persistent pendant un certain temps. Il suffit souvent du contact répété de la nitroglycérine avec l'épiderme des mains pour que ces accidents se produisent. Des applications d'eau sédative, ou même d'eau froide sur la tête amènent un notable soulagement. D'ailleurs les ouvriers qui préparent ce produit cessent au bout de quelques jours de ressentir ces effets, et leur santé ne paraît en rien altérée, même au bout de plusieurs années. Cette action toxique doit être attribuée à la nitroglycérine et non aux vapeurs nitreuses qui se dégagent pendant la préparation.

En effet, dans les fabriques de nitrobenzine, on ne constate pas d'accidents analogues, malgré la production des mêmes vapeurs.

Les effets toxiques que nous venons de signaler se manifestent également, avec plus ou moins de violence, lorsqu'on absorbe quelques gouttes de nitroglycérine : une plus forte quantité pourrait amener de graves désordres.

Dans une série d'expériences que nous avons faites avec le docteur Bergeron, nous avons injecté trois gouttes de nitroglycérine sous l'épiderme d'un oiseau. Aucun symptôme particulier ne se manifesta pendant longtemps ; mais au bout de cinq heures environ, l'animal fut pris d'étourdissements, de vertiges et mourut.

Ce que nous avons dit précédemment s'applique aussi à la dynamite. Cette dernière, qui se présente parfois sous la forme d'une poudre légère, quand elle renferme une faible proportion de nitroglycérine, est facilement entraînée par l'air et pénètre rapidement dans l'organisme par les voies respiratoires.

Pendant le siége de Paris, obligés de transvaser fréquemment de grandes quantités de dynamite à 50 pour 100 dans laquelle la matière absorbante était formée d'une poudre très-ténue et légère (cendre de bog-head), à plusieurs reprises nous eûmes l'occasion d'étudier sur nous-mêmes et sur nos collègues l'action que nous venons de signaler, et qui se manifestait par de la céphalalgie et des nausées violentes. Ces accidents varient avec les individus.

Un cheval auquel on donna par mégarde de l'avoine placée dans une caisse qui avait servi au transport de la dynamite et qui en contenait encore une très-faible quantité, fut pris de tremblements dans les membres et refusa tout service pendant un jour.

D'ailleurs la dynamite se livrant au commerce sous forme de cartouches recouvertes d'un papier spécial, l'inconvénient dont nous venons de parler n'est jamais à craindre.

MODE D'EMPLOI

On peut provoquer la détonation de la nitrc cérine de deux manières :

1° Par le choc. Ce procédé étant d'une applic difficile n'a jamais été adopté dans la pratique ;

2° Au moyen d'amorces détonantes. Celles-ci voquent une vibration qui se communique aux r cules de nitroglycérine les plus rapprochées, e suite à toute la masse.

On employa d'abord, comme amorce, des récipients ouverts remplis de poudre ordinai placés à la partie supérieure de la charge du li explosif : ce procédé était défectueux et am souvent des ratés.

On imagina ensuite de renfermer la poudre une enveloppe en bois ou en métal qui pût op une certaine résistance à l'expansion des gaz poudre. Il se produisait ainsi une première dé tion qui entraînait celle de la nitroglycérine pétards ne contenaient que quelques gramm poudre.

M. Kopp, dans l'extraction des grès vosgiens de Saverne, opérait de la manière suivante :

On introduisait dans des trous de mine d 6 centimètres de diamètre sur 2 à 3 mètres de une quantité de nitroglycérine variant entre 1! 2000 grammes. On plaçait à la surface du li un petit cylindre en bois rempli de poudre et

monté d'une mèche. Ce cylindre mesurait 4 centimètres de diamètre sur 5 à 6 centimètres de hauteur. On achevait de remplir le trou de mine avec du sable fin, et on mettait le feu à la mèche. L'explosion, qui se faisait généralement sans projection, amenait le déplacement d'énormes blocs fissurés dans tous les sens, et prêts à être débités.

Plus tard, M. Nobel, après avoir étudié les causes de la décomposition instantanée de la nitroglycérine, employa des amorces en fulminate de mercure pur ou mélangé de nitrate de potasse.

On peut se servir également de substances détonantes, telles que le coton-poudre, le mélange de chlorate de potasse et de sulfure d'antimoine, etc., à la condition de renfermer ces matières dans des récipients clos assez résistants pour donner naissance à une petite explosion.

L'amorce qu'on employait le plus généralement et que M. Nobel a appliquée depuis à la dynamite, se compose d'un tube en cuivre d'un diamètre de quelques millimètres, fermé à une de ses extrémités et rempli de fulminate de mercure : une mèche à combustion lente pénètre dans le tube, jusqu'au contact du fulminate. On pince l'extrémité du tube, de telle sorte que la mèche se trouvant fortement serrée, les gaz dégagés par la combustion du fulminate ne pouvant trouver d'issue, provoquent une explosion.

Lorsque l'inclinaison des trous de mine empêchait qu'on n'y introduisît directement la nitroglycérine, on renfermait le liquide explosif dans des tubes en bois ou en métal munis d'une ouverture par laquelle pénétrait l'amorce. Ces tubes étaient fermés au

moyen d'un bouchon de liége, et disposés de manière à s'adapter aussi exactement que possible à la forme des trous de mine.

La nitroglycérine peut s'employer même quand elle est gelée, ce qui a lieu souvent dans les pays froids. Bien qu'elle soit alors moins à craindre qu'à l'état liquide, son emploi n'est cependant pas exempt de dangers, et peut occasionner de graves accidents. Nous avons, en effet, cité plus haut l'explosion produite en Russie par un bloc de nitroglycérine qu'on avait voulu briser avec un instrument en fer. On peut d'ailleurs s'assurer du danger que présente ce corps même à l'état solide, en en plaçant une petite quantité sur une enclume et en la frappant avec un marteau. L'explosion se produit au premier ou au second coup.

D'après des remarques faites par les mineurs qui se servent de nitroglycérine, il paraîtrait que la nature des gaz provenant de l'explosion varie en raison de la proportion de fulminate que contient l'amorce. Ce fait qui nous a été signalé nous semble fort douteux. Peut-être pourrait-on l'expliquer néanmoins en admettant qu'une quantité trop faible de fulminate est impuissante à amener l'ébranlement moléculaire nécessaire à l'explosion de toute la masse; une partie de celle-ci brûlerait alors en provoquant l'explosion du reste, et en dégageant des produits gazeux différents de ceux qui se développent par suite de la décomposition instantanée.

Nous ajouterons en terminant ce sujet quelques considérations sur la stabilité de composés explosifs analogues à la nitroglycérine.

La plupart des composés explosifs de provenance organique, dans lesquels un ou plusieurs équivalents d'acide hypoazotique remplacent le même nombre d'équivalents d'hydrogène, la nitroglycérine, le pyroxyle, etc.; sont d'une assez grande instabilité, lorsque leur pureté est imparfaite.

On les débarrasse difficilement par le lavage des dernières traces d'acides qu'ils renferment et qui provoquent souvent au bout de quelque temps, un commencement de décomposition. Une élévation de température accélère sensiblement cette action. On peut cependant, en présence de l'eau, conserver peut-être indéfiniment ces divers composés, quoique incomplétement lavés. Le pyroxam ou fécule azotique, par exemple, est doué d'une grande instabilité et se décompose brusquement quand on le soumet pendant quelques minutes à une température de 100 degrés. Néanmoins M. Poinsot, à qui on doit de remarquables travaux sur ce corps, a pu le conserver sous une couche d'eau pendant plusieurs années, sans qu'il perdît aucune de ses propriétés.

La nitrodulcite, qui peut se décomposer partiellement à l'air, au bout de quelques mois, ne subit aucune altération en présence de l'eau.

Le glycol, la glycérine, l'érythrite, la mannite et son isomère, la dulcite, appartiennent au groupe des alcools polyatomiques et forment des composés détonants par leur contact avec l'acide nitrosulfurique. Parmi ces composés, les uns sont liquides comme la nitroglycérine et le nitroglycol (1), d'autres se pré-

(1) Ce composé a été signalé récemment par M. Henry. Nous l'avions obtenu de notre côté à la même époque. Voir, pour la

sentent sous la forme cristalline, comme la nitro-érythrite, la nitromannite et la nitrodulcite.

Ces diverses substances, toutes douées de propriétés explosives analogues à celles de la nitroglycérine, pourraient remplacer cette dernière dans la préparation de la dynamite ; mais leur prix élevé ne permet pas cette application.

La préparation de la nitroglycérine dans un laboratoire ne présente aucun danger pour une personne expérimentée et habituée aux manipulations chimiques. Confiée à des mains peu exercées ou imprudentes elle peut donner lieu aux accidents les plus graves. Quant à la fabrication en grand, elle est toujours dangereuse. On ne doit en aucun cas s'y livrer sans de grandes précautions et une étude approfondie ; mais quelle que soit la prudence qu'on y apporte, on a toujours à craindre des explosions. Aussi, dans la construction des usines où l'on prépare la nitroglycérine, adopte-t-on des dispositions spéciales qui atténuent les effets des accidents possibles.

M. Nobel nous racontait dernièrement que dans une de ses usines, grâce au système particulier de construction légère adopté par lui, plusieurs milliers de kilogrammes de nitroglycérine ont pu faire explosion à la fois, sans qu'aucun ouvrier ait été blessé : ceux-là mêmes qui se trouvaient à quelques mètres de l'accident en ont été quittes pour une forte commotion. Quoi qu'il en soit, lors même que la fabrication de la nitroglycérine serait exempte de

ion et les propriétés, *Comptes rendus de l'Académie.*

dangers, les accidents répétés auxquels ont donné lieu son emploi et son transport, montrent assez combien sont nombreuses les chances d'explosion et de quelles précautions minutieuses il est nécessaire de s'entourer.

Le prix de revient de la nitroglycérine, préparée sur place dans un état de pureté suffisante pour un usage immédiat, est inférieur à celui de la dynamite : tel est le seul motif qui puisse plaider en sa faveur. Dans tous les cas, cet avantage n'est pas de nature à balancer les chances d'accidents auxquels on s'expose, et le côté économique ne peut autoriser à mettre en danger la vie des ouvriers.

Aussi, pensons-nous que l'usage de la nitroglycérine devrait être prohibé d'une manière absolue ; ou tout au moins les accidents auxquels elle peut donner lieu devraient faire encourir aux entrepreneurs des amendes et des pénalités telles, qu'ils renonceraient d'eux-mêmes à son emploi.

DYNAMITE

HISTORIQUE

La dynamite, dont l'invention en 1866-67 est due aux recherches de M. Nobel, est formée de nitroglycérine et d'une matière inerte (silice ou autre corps poreux).

Le mélange de ces substances doit être aussi intime que possible. On l'obtient par le brassage à la main ou au moyen d'appareils mécaniques spéciaux qui produisent un renouvellement continue des surfaces du contact.

Ce composé a reçu le nom de *dynamite* (δύναμις, force, puissance). Il présente les mêmes avantages que la nitro-glycérine, et son emploi est exempt de dangers.

« La (1) nitroglycérine, ce terrible et capricieux agent, cause de tant de malheurs, toujours menaçant de tant de catastrophes, a pu être complétement domptée ; elle est aujourd'hui exempte de tout danger dans son transport et son maniement, beaucoup plus sûrs, par conséquent, que ceux de la poudre à canon ; c'est un serviteur inerte par lui-même, mais agissant

(1) Extrait d'un mémoire lu devant la Société des ingénieurs de Londres en janvier 1869, déjà cité dans le courant de cet ouvrage.

avec une impétueuse activité dès qu'il en a reçu l'ordre. M. Nobel, douloureusement impressionné par les lamentables accidents qu'on pouvait croire inséparables de l'emploi de la nitroglycérine, se livra avec ardeur à la recherche des moyens d'en prévenir le retour en conservant à cet explosif ses propriétés et ses services utiles, et après une longue suite d'essais il réussit au delà de ses espérances. Son procédé consiste d'abord à mélanger la nitroglycérine de sable fin, jusqu'à ce que le tout ait à peu près la consistance et l'aspect du sucre brut le plus grossier ; il donne à ce mélange le nom de *dynamite.* Mais pour déterminer les explosions quand elles sont jugées convenables, il emploie un mode d'action particulière, sans lequel aucune explosion n'est possible.

« En juillet dernier, des expériences furent faites à Merstham, Greystone, Linxworks, et le résultat a pleinement démontré, d'une part, que la dynamite a parfaitement le caractère inoffensif qui était une des conditions du problème, et, d'une autre part, que dans les explosions déterminées par le mode d'action spéciale, la nitroglycérine déploie toute sa puissance absolument comme s'il n'y avait pas de mélange. Parmi ces expériences nous citerons les suivantes : on prépara sous les yeux des assistants un certain nombre de cartouches de dynamite avec des enveloppes de papier mince ; à chacune d'elles se rattachait une mèche qui brûlait, quand on y avait mis le feu, à raison de 4 millimètres et demi par minute. Sur l'extrémité de la mèche qui pénétrait dans la dynamite, on avait fixé une capsule avec une amorce

formée d'un fulminate énergique, et c'était ce fulminate qui avait la propriété spéciale de déterminer l'explosion de la dynamite. On fit d'abord partir une charge de 15 grammes de dynamite, placée à découvert sur une planche de chêne, longue de 2 mètres, large de 23 centimètres, épaisse de 5 centimètres et dont les bouts portaient sur des points d'appui. Une très-forte détonation s'ensuivit : on examina la planche et l'on constata qu'elle avait été traversée de part en part, qu'elle s'était fendillée et que des éclats s'étaient détachés de la face postérieure. On répéta l'expérience avec une charge tout à fait semblable sur une poutre posée à plat sur le sol, et le résultat fit une profonde entaille dans l'épaisseur de la poutre avec dislocation des fibres du bois sur l'un de ses côtés. Pour démontrer l'innocuité de la dynamite dans le cas où elle est enflammée à la manière ordinaire, c'est-à-dire par le contact d'un corps en ignition, M. Nobel prit une cartouche qu'il divisa en deux parties égales, et il alluma dans sa main une des deux moitiés avec une mèche ; la dynamite brûla tranquillement et se consuma tout entière ; la combustion était active, mais non très-rapide. L'autre moitié fut enflammée par le procédé de la capsule, et la détonation qui se produisit fut encore violente. Les expériences suivantes ont prouvé non moins victorieusement l'absence de tout danger dans les cas de chocs et de collisions que peuvent occasionner les transports, ou d'inflammation de la matière dans les incendies. Une boîte légère de sapin, contenant 4 kilogrammes de dynamite, fut lancée d'une hauteur de 23 mètres, de manière à tomber

notre sujet. Par la puissance même de son action, la dynamite ne peut convenir au chargement des petites armes, elle les ferait éclater en mille morceaux : on peut en juger par l'état où elle mit le cylindre de fer; mais évidemment elle doit être excellente pour charger les bombes. Pour l'appliquer à ce nouvel usage, on attacherait au projectile une mèche brûlant avec une vitesse connue, munie d'une capsule détonante, et opérant l'explosion dans le moment propice ; des expériences ont prouvé d'ailleurs que si la bombe éclatait dans l'âme de la pièce, il n'en résulterait pas d'accidents graves. Pour des démonstrations expérimentales, M. Nobel ne jugea pas possible de faire éclater une bombe, mais il put très-bien y suppléer avec une petite caisse de fer-blanc qui contenait environ 2 kilogrammes et demi de dynamite, et d'une autre part une plaque de fer forgé épaisse de 5 centimètres, haute de 60 et longue de 130 environ. Cette plaque était recourbée, et la caisse fut placée de manière à être enveloppée par la courbure. Par l'explosion, la plaque fut brisée en quatre morceaux inégaux, qu'on ne retrouva qu'à de très-grandes distances. Sur chacun de ces fragments, la face qui avait été tournée vers le centre de l'explosion était criblée de petits trous, attribuables, sans doute, aux grains de sable de la dynamite. Cette expérience donnait une idée très-satisfaisante de l'œuvre de destruction que pourrait accomplir une bombe chargée de dynamite.

« Nous rentrons dans notre sujet par l'expérience ci-après, où il s'agit de faire sauter des roches. Dans un trou de mine d'une profondeur de 4 mètres et

et d'un diamètre de 5 centimètres, on intro-
t 6 kilogrammes de dynamite, qui fut bourrée
lement avec du sable. L'explosion fut accompa-
d'un grondement souterrain et d'un frémisse-
; du sol qui se communiquèrent à des distances
dérables. La surface extérieure des roches pré-
ı une série de fissures attestant que des masses
mes avaient perdu leurs liens de solidarité, et
lles étaient prêtes à se séparer sous les coups de
oche. Si elles avaient été plus dures et moins
les, elles auraient opposé plus de résistance, et
it probable que la masse entière aurait sauté
se diviser. C'est ce qui arriva dans une carrière
ranite de Suède, où la dynamite projeta dans l'air
masse immense de cette espèce de roche, qui se
ı seulement par sa chute. Dans la circonstance
elle, une nouvelle charge de dynamite, intro-
e dans un trou de même profondeur que le pré-
ınt, mais seulement de 3 kilogrammes, donna
portionnellement les mêmes résultats. Un membre
ıotre Société, M. A.-E. Walton, qui était présent
s expériences, et qui a passé sa vie dans les tra-
x des mines, affirmait que le succès dépassait de
ucoup son attente; il voyait avec admiration de
grands résultats obtenus avec d'aussi petites
rges. Sur une échelle plus restreinte encore,
x expériences permirent de comparer les effets de
lynamite employée à sec et dans les terrains hu-
les. On fit éclater un tube de verre rempli de car-
ches bourrées de sable libre, et ensuite un autre
e semblable, où le sable était remplacé par de
ıu. On obtint un effet très-curieux par l'inflamma-

tion d'une cartouche dans un baquet d'eau : la détonation parut plus forte que dans les conditions ordinaires; le baquet ne résista pas au violent effort du liquide contre ses flancs, et l'on en chercha longtemps les débris, qui s'étaient disséminés en franchissant des centaines de mètres.

« Nous voyons donc que les épreuves les plus sévères, les plus variées, ont été impuissantes à faire apparaître quelque danger dans les manutentions et l'emploi de la dynamite, et nous voyons aussi que jamais elle n'a manqué à son service utile : sous l'action particulière de la capsule, elle a constamment déployé une force prodigieuse. Evidemment elle possède d'une manière absolue les deux grandes qualités qui étaient requises pour légitimer son adoption dans les travaux des mines. Mais un doute était possible encore sur un point important : la dynamite est d'origine récente; elle n'a pas subi l'épreuve de longues périodes d'années. Ne pourrait-elle, par l'effet du temps, devenir sujette à des altérations de constitution mécanique ou chimique de nature à diminuer ces précieuses qualités, ou même à la rendre aussi dangereuse que la nitroglycérine? Nous avons nous-même communiqué ces craintes à M. Nobel, qui les a promptement dissipées; dès le principe, il avait prévu l'objection, et il était en mesure d'y répondre. De la dynamite conservée depuis l'époque de la découverte, placée dans les conditions les plus variables, soumise à de hautes températures, notamment pendant quarante jours à la température de le 100 degrés centigrades, à l'action de l'air et eil pendant tout l'été dernier, s'est maintenue

exactement dans son état primitif. La pratique confirme d'ailleurs les expériences ; des quantités immenses de cette matière, qui déjà sont consommées journellement dans les mines, ont été fréquemment soumises à un examen préalable très-minutieux, et l'on n'a pu encore y découvrir la plus légère altération. Il est vrai que tous les composés à base de nitrates, ou plutôt d'hyponitrates, sont sujets à la décomposition spontanée — c'est l'expression consacrée, quelque impropre qu'elle puisse être — à moins qu'ils ne soient parfaitement nettoyés de l'acide nitrique libre qui leur reste adhérent. La raison en est que cet acide produit une décomposition locale dont l'effet est de rendre libre une certaine quantité d'acide hyponitrique, ce dernier acide produisant une nouvelle décomposition locale, et ainsi de suite de proche en proche, jusqu'à ce que la chaleur dégagée soit suffisante pour enflammer le composé. Mais il n'est rien de plus facile que de débarrasser complétement la dynamite de son acide libre, et c'est un grand avantage qu'elle possède sur le coton-poudre et autres composés analogues d'une constitution fibreuse, où quelquefois l'adhérence de l'acide résiste à tous les lavages.

« Pour continuer l'histoire de la dynamite jusqu'au moment actuel, nous constaterons la rapide extension de son emploi depuis les expériences de Merstham. Dans toutes les contrées minières de l'Allemagne, il s'en est établi des dépôts où la vente va croissant de jour en jour ; dans celles du Nord particulièrement, il est peu de mines où l'on ne s'en serve plus ou moins, et si l'usage n'en est pas devenu plus général

que celui de la poudre à canon, c'est un peu l'effet de cette gravité et de cette circonspection qui s'allient à tant de bonnes qualités dans le caractère allemand. Voici, du reste, un fait significatif : à Cologne, la manufacture de poudre la plus importante de la Prusse occidentale vient de se convertir à la dynamite. En Suède, les mineurs s'étaient habitués à la nitroglycérine, et l'on eut d'abord quelque peine à faire prévaloir la dynamite ; mais depuis la prohibition du liquide explosif, c'est-à-dire depuis septembre dernier, la consommation de la nouvelle substance a pris tout à coup de grandes proportions, et elle est aujourd'hui beaucoup plus considérable que n'a jamais été celle de la nitroglycérine. En Norwége, elle n'est pas encore très-répandue ; il s'en est vendu seulement 20,000 kilogrammes l'année dernière, mais il y a une progression très-marquée. La dynamite est en grande faveur dans les mines de la Californie, où elle arrive librement par un chemin de fer ; mais dans les Etats de l'Est de l'Union américaine, on n'a pas renoncé à la nitroglycérine, principalement parce qu'on n'y fabrique pas encore la dynamite.

« Ajoutons maintenant que la pratique du nouveau composé, aussi développée déjà que nous l'avons constaté, n'a pas infirmé nos conclusions des expériences de M. Nobel. Aucun accident ne s'est produit dans la préparation, les transports ou l'emmagasinage de la dynamite. Dans la terrible explosion de nitroglycérine qui fit sauter, l'année dernière, une manufacture à Stockholm, un dépôt de dynamite contigu à l'établissement fut projeté au loin

et disséminé, mais non enflammé. A la vérité, deux accidents sont arrivés dans les mines, et ce sont les seuls parvenus à notre connaissance : le premier fut causé par l'imprudence d'un mineur, qui débourra un trou de mine parce qu'il croyait que la capsule avait raté ; le second, par la folie d'un autre mineur, qui alluma la mèche d'une cartouche et la retint dans sa main jusqu'à l'explosion. Mais do tels faits ne méritent pas d'être rapportés.

« Quelques critiques ont allégué que l'addition de la silice à la nitroglycérine devait nécessairement en diminuer la puissance explosive. A cet égard, ils étaient dans l'erreur. Pour les résultats pratiques, il n'y a aucune perte. En effet, quand on introduit la nitroglycérine directement, en la versant dans le trou de mine, il s'en fait presque inévitablement un certain coulage par l'orifice ou les crevasses, tandis qu'une autre partie du liquide reste adhérente à des parois qui seront exposées au choc de la barre de fer, et de là des dangers imminents d'explosions prématurées. Il y a donc nécessité de renfermer le liquide dans des cartouches solides et imperméables; mais ces cartouches ont l'inconvénient de laisser des vides plus ou moins considérables entre elles et les parois de la cavité. Une charge de dynamite, au contraire, peut être tassée de manière à remplir tout l'espace. Or il en résulte qu'une telle charge contient au moins, dans sa composition, une aussi grande quantité de nitroglycérine que la cartouche de nitroglycérine pure qui serait employée pour le même trou. Voilà comment la silice n'occasionne aucune perte de force dans la pratique ; et en définitive nous

arrivons à la conclusion, qu'on ne découvre dans la dynamite aucun défaut réel, aucun motif de se priver de ses deux grands avantages, puissance mécanique prodigieuse et sécurité parfaite, indépendamment de la propreté et de la facilité de ses manipulations. »

. . . .

« La dynamite (1) est un mélange mécanique de nitroglycérine à une silice poreuse. En Allemagne on extrait cette silice, appelée *kieselguhr*, à Oberlohe, près d'Unterlass, en Hanovre. Elle est blanche et se réduit facilement en poussière. Elle est constituée par l'enveloppe siliceuse d'une variété d'algues les diatomacées, et composée, par suite, d'une quantité innombrable de petites cellules très-solides et en très-bon état, quoique leur formation date de plusieurs milliers d'années. Elle peut absorber jusqu'à 75 pour 100 de nitroglycérine. Ses cellules offrent une très-grande résistance au choc et à la pression. Ce sont donc toutes ces propriétés qui ont engagé M. Nobel à la choisir pour fabriquer la dynamite.

« La nitroglycérine (2), à part le cas d'échauffement à 180 degrés (?) de toute sa masse, ne peut faire explosion que par un choc énergique contre un corps dur, ou par de violentes vibrations communiquées à toutes les positions du liquide.

« L'absorption de la nitroglycérine dans les grains de silice place le liquide dans les interstices d'une substance poreuse susceptible de mobilité et ne tran

(1) Barbe, p. 20.

(2) *Id.*, p. 22.

mettant pas les chocs même les plus violents. Les petits canaux de cette silice forment de petits réservoirs d'huile explosive dans lesquels le liquide n'est maintenu que par l'action de la capillarité. Des chocs violents appliqués à de grandes masses de dynamite produisent une compression des molécules, leur déplacement, peut-être même l'écrasement partiel de quelques vaisseaux infiniment petits, mais les particules de la masse de nitroglycérine elle-même ne reçoivent pas le choc nécessaire à leur explosion.

« Ces considérations ont été entièrement confirmées par la pratique.

« Il est vrai qu'avec l'addition de silice la force explosive du mélange est moindre que celle de la nitroglycérine pure, mais dans la plupart des cas cela est indifférent, nous le verrons plus tard.

« Le mélange de la nitroglycérine et de la silice s'effectue très-simplement. La porosité de la silice assure une répartition uniforme (1). »

MM. Charles Girard, Millot et Ch. Vogt ont comparé les pouvoirs absorbants de différentes substances pour la nitroglycérine. D'après leurs essais, le sucre paraît être un des meilleurs absorbants ; il ne peut cependant servir à une fabrication industrielle, à cause de son prix élevé. (Le prix de la matière absorbante ne doit pas en général dépasser 5 à 10 francs les 100 kilogrammes.)

(1) Il faut observer très-exactement la composition du poids du mélange, car un excès d'huile explosive peut donner lieu plus tard à l'exsudation de la nitroglycérine.

TABLEAU (1).

COMPOSITION.		SOUS UN POIDS DE 4k,500 TOMBANT DE			OBSERVATIONS.
		1m,50.	1m,00.	0m,50.	
Silice pure Nitroglycérine	3gr.000 1gr.000	Éclate difficilement.	Éclate plus difficilement	Éclate encore.	Ces proportions donnent une poudre absolument sèche.
Silice Nitroglycérine	2gr.000 2gr.000	Éclate bien.	Éclate assez facilement.	Éclate.	La dynamite ainsi faite est pulvérulente, mais mouille le papier.
Silice Nitroglycérine	1gr.600 2gr.400	Éclate fortement	Éclate bien.	Éclate.	Le mélange est assez humide et mouille beaucoup le papier.
Silice (provenant des résidus de la fabrication du sulfate d'alumine) Nitroglycérine	2gr.700 3gr.000	Éclate bien.	Éclate bien, mais par partie.	Éclate difficilement.	Forme une masse pâteuse qui mouille peu le papier.
Alumine Nitroglycérine	1gr.200 2gr.200	Éclate bien.	Éclate assez difficilement.	Éclate très-difficilement.	Masse semi-pulvérente, semi-pâteuse qui mouille peu le papier.
Alumine Nitroglycérine	3gr.000 1gr.000	Éclate assez difficilement.	Exige plusieurs coups pour éclater.	Peu explosible.	Poudre sèche ne mouillant pas le papier.
Kaolin lavé et porphyrisé. Nitroglycérine	5gr.400 3gr.400	Éclate bien.	Éclate.	Éclate difficilement.	Masse pâteuse dont on peut faire des boulettes, mouille un peu le papier.
Tripoli lavé Nitroglycérine	2gr.110 2gr.685	Éclate bien.	Éclate.	Éclate difficilement.	Masse analogue à la précédente.
Glaise porphyrisée Nitroglycérine	2gr.250 2gr.050	Éclate bien.	Éclate bien.	Éclate.	Masse pâteuse très-humide qui mouille beaucoup le papier.
Gypse porphyrisé Nitroglycérine	5gr.500 3gr.080	Éclate bien.	Éclate par portions	Éclate encore par portions.	Ce mélange donne une pâte très-humide qui mouille fortement le papier.

[illegible]	[illegible]		[illegible]	Éclate difficilement.	[illegible] analogue à l'argile, mouille le papier par compression.
Ethal	0gr.500	Éclate difficilement.	»	»	Mélange pâteux très-humide.
Nitroglycérine	1gr.000				
Ethal	1gr.000	Éclate très-difficilement.	»	N'éclate pas.	Poudre presque sèche qui mouille très-peu le papier.
Nitroglycérine	1gr.000				
Sucre pulvérisé	0gr 500	Éclate en cartouche serrée, n'écl. pas seul	Éclate difficilement	N'éclate pas.	Ce mélange est presque liquide.
Nitroglycérine	1gr.000				
Sucre pulvérisé	1gr.000	Éclate difficilement.	Éclate très-difficilement.	N'éclate pas.	Liquide très-visqueux avec cristaux de sucre.
Nitroglycérine	1gr.000				
Sucre pulvérisé	3gr.000	Éclate très-mal.	N'éclate pas.	N'éclate pas.	Poudre presque sèche mouillant le papier.
Nitroglycérine	5gr.000				
Sucre en morceaux	1gr.000	Éclate avec difficulté	N'éclate pas.	N'éclate pas.	Toute la nitroglycérine n'est pas absorbée par le sucre.
Nitroglycérine	2gr.000				
Sucre en morceaux	3gr.000	N'éclate pas.	»	»	Toute la nitroglycérine est absorbée par le sucre.
Nitroglycérine	2gr.000				
Glycérine	1gr.000	Ne part que difficilement.	Éclate mal.	N'éclate pas.	Ces deux liquides ne se mélangent pas bien. Il y a séparat. au bout d'un certain temps.
Nitroglycérine	3gr.000				
Alcool méthylique	3gr.000	N'éclate pas.	»	»	Ce mélange, à partir de 25 pour 100 d'alcool, ne part plus.
Nitroglycérine	1gr.000				
Huile	3gr.000	N'éclate que très-difficilement.	N'éclate pas.	N'éclate pas.	Ces liquides donnent une émulsion. Par le temps, les liquides se séparent.
Nitroglycérine	3gr.000				
Poudre Nobel. Nitrate de baryte.	0gr.70	Éclate bien.	Éclate.	Exige pour éclater plusieurs chocs.	Poudre humide qui mouille le papier.
Poudre Nobel. Résine	0gr.10				
Poudre Nobel. Nitroglycérine	0gr.20				
Poudre Nobel Nitrate de baryte.	0gr.68	Éclate bien.	Éclate.	Éclate comprimée.	Poudre comme a précédente.
Poudre Nobel Brai.	0gr.12				
Poudre Nobel Nitroglycérine	0gr.20				
Nitroglycérine seule		Éclate.	Éclate.	Éclate même sous une chute de $0^m,25$.	Liquide.

(1) *Comptes rendus de l'Académie*, t. LXXI, n° 20.

D'après nos recherches, le plâtre peut absorber jusqu'à 50 pour 100 de nitroglycérine, le carbonate de magnésie 75 pour 100. La dynamite dont nous nous servions pendant le siége de Paris était faite au moyen de cendres de *boghead* (résidu de la fabrication du gaz riche, ou du carbure connu sous le nom de *schiste d'Écosse*). Ce mélange renferme environ 55 pour 100 de nitroglycérine.

PROPRIÉTÉS.

Effet du choc.

Les divers auteurs qui se sont occupés de cette question ont émis des opinions contradictoires, provenant sans doute des conditions différentes dans lesquelles ils ont opéré, ainsi que de la teneur de la dynamite en nitroglycérine.

On doit aussi faire intervenir l'influence de la température qui modifie les résultats.

Ce sujet présente une grande importance, surtout au point de vue des applications de la dynamite, à la guerre : nous entrerons donc dans quelques détails sur les effets du choc sur la dynamite, en insistant sur les conditions dans lesquelles furent faites nos expériences.

La plupart des échantillons de dynamite qu'on rencontre dans le commerce en France et en Belgique, renferment une proportion de nitroglycérine un peu inférieure à 75 pour 100, coefficient maximum d'absorption de la silice employée par M. Nobel, d'après cet auteur. Nos analyses nous ont indiqué une teneur moyenne de 63 à 64 pour 100 de substance explosive.

La dynamite à 64 pour 100 convenablement préparée, soumise au choc du marteau sur une enclume, à la température ordinaire (15 degrés), ne détone pas comme la nitroglycérine.

Si cependant on l'étend en couche très-mince sur l'enclume et si on la frappe violemment, quelques parcelles font explosion, en produisant un bruit ana-

logue à celui d'un coup de fouet, mais la décomposition ne s'étend pas aux parties avoisinantes.

Il n'en est pas de même si la température de la dynamite atteint 40 ou 50 degrés.

Le même échantillon de dynamite qui servait à nos essais, a été exposé pendant deux heures à l'action du soleil, sur une plaque métallique, pendant une forte chaleur de l'été. Dans ces conditions, le choc du marteau sur l'enclume produit une explosion semblable à celle que fournit la nitroglycérine.

La même expérience faite avec la dynamite ramenée à 40 pour 100 par l'addition de substance poreuse, a donné successivement le même résultat que la dynamite à 64 pour 100 à la température ordinaire.

En réduisant à 25 pour 100 la proportion de nitroglycérine et en portant à 50 degrés la température du mélange, le choc du marteau a été sans influence.

Choc d'une balle sur des récipients remplis de dynamite. — Dynamite à 50 pour 100. La matière absorbante consistait en cendres de boghead. Température, 5 degrés au-dessous de zéro.

Un sac de dynamite, formé d'une toile résistante, fut cloué sur un mur en moellons ordinaires; à la distance de 50 mètres environ, on tira avec un chassepot un certain nombre de balles qui, pénétrant dans le sac, ne produisirent aucun effet.

Pensant que la nature du récipient pouvait avoir quelque influence, nous avons disposé dans les mêmes conditions une gamelle de soldat remplie de dynamite. Le résultat fut le même que dans l'expé-
précédente.

Essai fait le 21 avril 1872 à l'École d'application du génie et de l'artillerie de Fontainebleau (1). — On disposa contre un mur une plaque de tôle de 15 millimètres d'épaisseur, la surface fut en partie recouverte de dynamite à 64 pour 100 de nitroglycérine sous forme de couche de 3 centimètres d'épaisseur. Température, 20 degrés.

Une balle de chassepot frappant la dynamite détermina son explosion et amena le brisement de la plaque de tôle.

Essai fait à l'Ecole de Saint-Cyr, mai 1872.—On a placé contre un mur en moellons, entremêlés de pierres meulières, une boîte plate en bois, de 2 centimètres d'épaisseur, remplie de dynamite à 50 pour 100. Température, 25 degrés.

Une balle de chassepot, traversant la boîte, détermina l'explosion de la dynamite.

Expériences faites au mont Valérien le 26 juin 1872, en présence de MM. Piguet et Clément, capitaines d'artillerie. — 1° Dynamite Nobel à 64 pour 100, renfermée dans un sac en papier et suspendu librement à l'air, sans point d'appui. Température de la dynamite, 20 degrés.

Le choc d'une balle de chassepot tiré à 20 mètres et traversant le sac détermina l'explosion de tout son contenu.

2° La même expérience faite à la distance de plus de 100 mètres fournit le même résultat.

3° Dynamite à 50 pour 100 (cendres de boghead), mêmes conditions d'expérience. Explosion violente.

(1) *Conférence et expériences sur l'emploi de la dynamite*, par P. Champion. (Voir le *Bulletin de la réunion des officiers*, n° 18.)

4° Dynamite ramenée à 40 pour 100 environ; a fait explosion.

5° Dynamite réduite à 25 pour 100; pas d'explosion.

Il résulte de ces faits que l'emploi de la dynamite dans les opérations de guerre doit être soumis à des précautions spéciales et qu'il serait nécessaire d'employer un produit ne renfermant que 25 pour 100 environ de substance explosive, dans les cas où les récipients de dynamite peuvent être atteints par les projectiles ennemis. Du reste, avec la teneur précédemment indiquée, on devra éviter les enveloppes métalliques épaisses qui, par l'arrêt brusque qu'elles peuvent faire subir aux projectiles, pourraient provoquer l'explosion de la dynamite.

M. Melsens a récemment publié de curieuses expériences sur le choc de projectiles contre une masse de fer.

Nous lui empruntons l'extrait suivant, qui se rapporte aux essais dont nous venons de parler.

« J'ai tiré, dit l'auteur, avec des balles de sodium, de zinc, de bismuth, d'étain et de plomb, sur une enclume solidement fixée contre un mur épais; au moment où la balle frappe l'obstacle, le tir se faisant dans une chambre obscure, une lueur plus ou moins vive apparaît ; il faut en conclure que des portions de la balle sont non-seulement portées à la température de la fusion, mais à celle de l'ignition. Ce phénomène me paraît en tout semblable ou comparable à celui que l'on observe lorsqu'on se procure du feu iquet à silex. Mais, pour la balle de plomb l'enclume, un phénomène remarquable

présente. S'il y a du plomb fondu, c'est en tout s peu de chose; des fragments de la balle conser-nt une force vive considérable; le métal, si mou, pulvérise, et une partie de cette poussière est si palpable, qu'elle pourrait servir à estomper un ssin. On constate dans cette première la présence l'oxyde de plomb, soluble dans l'acide acétique lué. Notons que le plomb, pour ces tirs, est exempt oxyde. On recueille cette poussière et les fragments repliant une longue feuille de zinc de 2 mètres et rment ainsi un tube au fond duquel se trouve l'en-ume. Des fragments microscopiques conservent ez de force vive pour produire de petits trous mi-oscopiques dans une feuille de zinc n° 8; les plus os fragments la découpent net dans le plan de l'en-ume, ne laissant que quelques points adhérents. ai essayé, sans y parvenir, de produire des trous reils par le tir direct en employant de la limaille plomb; mais on entame la lame sans la traverser l'on fait une ouverture beaucoup plus grande.

«Toutes ces expériences peuvent être répétées avec pistolet de tir (1). »

Action du choc sur la dynamite.

Action du choc sur la dynamite (2). — « Si, la plu-rt du temps, il suffit d'un choc pour amener l'ex-sion de la nitroglycérine, il n'en est pas de même la dynamite.

1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXIV, 18 (29 avril 1872), p. 1194.

2) Extrait d'un mémoire des professeurs et docteurs Bolley, dt et Pestalozzi.

« Il résulte de diverses expériences bien connues qu'on peut faire tomber d'une grande hauteur des caisses remplies de dynamite sans qu'il y ait explosion.

« Dans nos expériences, nous avons recherché si en principe un choc pouvait provoquer l'explosion de la dynamite, quelle force il fallait développer pour obtenir cet effet et dans quelles circonstances il fallait se placer pour le favoriser ou le rendre impossible. »

Effet du choc sur la dynamite comprimée fortement dans une enveloppe résistante. — « On prit des étuis de cuivre, longs de 50 millimètres et d'un diamètre de 11 millimètres ; on y comprima de 3 à 5 grammes de dynamite ; une partie de ces étuis avait une épaisseur de métal de 1 millimètre, l'autre de 5 millimètres ; on les ferma au moyen d'une vis en cuivre. Pour soumettre les cartouches à un choc énergique, on imagina de les lancer au moyen d'un fusil à vent contre une roche verticale dans la carrière de Danikon.

« Le fusil à vent était solidement fixé à un bloc. On lâchait la détente au moyen d'une ficelle. Le projectile avait à parcourir $13^m,2$. La vitesse dont il était animé au milieu de sa course atteignait 40 mètres. On l'a constaté à Zurich avec un chronoscope de Hüpps.

« On fit successivement cinq expériences :

« 1° Une cartouche à enveloppe épaisse fut lancée contre le roc. Pas d'explosion. La cartouche était dé-
...ée par le choc ;

Une autre cartouche à enveloppe épaisse

remplie de dynamite, contenant en plus une capsule de Nobel, fit explosion en atteignant le rocher ;

« 3° On tira une cartouche à enveloppe mince. Elle fit explosion en frappant le rocher ;

« 4° Même expérience ; de nouveau même résultat ;

« 5° Une cartouche à enveloppe épaisse manqua deux fois le rocher et alla frapper chaque fois un tas de décombres qui se trouvait à côté ; au troisième coup la roche fut atteinte, il n'y eut pas d'explosion.

« L'expérience n° 2 devait naturellement amener une explosion, nous n'avons donc pas à en tirer de conclusions. Des autres, il résulte que la dynamite, fortement comprimée dans une enveloppe résistante, peut faire explosion sous un choc suffisamment énergique. Les cartouches à enveloppes minces, moins lourdes, étant par suite animées d'une plus grande vitesse que les autres, produisaient un choc plus énergique en rencontrant le rocher, ce qui explique leur explosion.

Effet du choc sur la dynamite à l'état libre. — « A Olten, dans une fabrique, on plaça 8 grammes de dynamite sur une plaque de fonte, et on fit tomber dessus, d'une hauteur de 1 mètre, un bloc de fer du poids de 550 kilogrammes. On produisit une bruyante explosion.

« A Zurich, avec un bloc cylindrique en fonte de 11k,5, on essaya de produire les mêmes explosions en faisant varier la nature des corps sur lesquels on plaçait la dynamite.

« C'est ainsi qu'on employa successivement la fonte, le grès, le bois.

« On peut de ces expériences tirer les conclusions suivantes :

« Un choc peut amener l'explosion de la dynamite à l'état libre, quand il a lieu entre deux corps très-durs comme le fer, pourvu qu'il ne soit pas trop faible. Le choc du fer sur la pierre ne peut produire ce résultat que dans de très-rares circonstances, et il est presque impossible de l'obtenir lorsqu'on remplace la pierre par le bois.

« En plaçant une petite quantité de dynamite de la grosseur d'un pois sur une enclume et en la frappant vigoureusement avec un marteau, on produit une explosion. En remplaçant l'enclume par une pierre ou un bloc de bois, il n'est plus possible d'obtenir ce résultat, même en augmentant notablement la quantité de dynamite et en remplaçant le coup de marteau par une pression énergique. »

Action de la chaleur.

« On pouvait craindre que la chaleur n'amenât l'exsudation de la nitroglycérine hors du corps absorbant. Nous plaçâmes 4 grammes de dynamite dans un entonnoir en verre et nous les exposâmes pendant une heure à l'action de la vapeur d'eau sans constater aucune modification : par contre, nous pûmes établir les conditions dans lesquelles la dynamite exposée à une élévation de température considérable peut faire explosion. On plaça une cartouche de dynamite dans un étui de fer-blanc ouvert à une extrémité. Jetée dans le feu, cette dynamite brûle sans aucune explosion. Après avoir mis de la dynamite dans le même tube, on le ferma avec un bouchon mé-

tallique à vis et on le plaça de nouveau dans un feu ardent. Après quelques instants, on eut une forte explosion et les charbons furent dispersés de tous côtés. En remplaçant la vis métallique par un bouchon ordinaire et dans les mêmes circonstances, on provoqua une explosion moins considérable que la précédente. De ces expériences on peut conclure que la dynamite à nu ou sous une enveloppe présentant une faible résistance, ne peut faire explosion sous l'action du feu le plus intense et qu'au contraire, dans les mêmes circonstances, elle peut produire une explosion considérable lorsqu'elle est enfermée dans une enveloppe de quelque résistance. »

Les expériences de choc décrites précédemment ont été faites avec de la dynamite de M. Nobel, contenant, d'après l'analyse de MM. Kundt, Bolley et Pestalozzi, 76,6 pour 100 de nitroglycérine. La matière absorbante renfermait de l'oxyde de fer, du carbonate de chaux et de la silice.

Il est bien entendu que les résultats ne seront pas les mêmes si on emploie différentes dynamites. Le choc fera détoner la dynamite d'autant plus facilement, qu'elle contiendra une plus forte proportion de nitroglycérine.

La dynamite à 50 pour 100, en couche mince, ne détone que partiellement sous l'influence d'une amorce. Nous avons rempli de dynamite à 50 pour 100 une série de tubes en verre d'un diamètre intérieur de 4 à 5 millimètres, et raccordés entre eux par des joints en caoutchouc ; à l'extrémité du premier tube nous avons fait partir une forte amorce. Suivant le tassement de la dynamite, l'explosion s'est propa-

gée plus ou moins loin, mais dans aucun cas n'a dépassé une longueur de 1m,50 environ.

Dans différents essais, où nous avons employé des cartouches faites avec du papier mince et non collé, l'amorce introduite par une large fente pratiquée dans la cartouche détonait seule, quoique entièrement plongée dans la dynamite. Si cependant on a soin de tasser fortement la cartouche, l'explosion pourra se produire.

La proportion de fulminate nécessaire à l'explosion de la dynamite doit être en raison inverse de sa richesse en nitroglycérine. Aussi doit-on, en citant des essais de ce genre, indiquer la proportion de cette substance contenue dans la dynamite dont on a fait usage.

Action de l'eau.

1° Si on place de la dynamite dans un verre à expériences, et qu'on la recouvre avec précaution d'une couche d'eau, la nitroglycérine s'isole au bout de quelques instants, et en agitant le liquide on la voit se précipiter à la partie inférieure du vase.

La presque totalité de la matière explosible se sépare de la substance inerte.

2° Nous avons rempli de dynamite un sac en toile mince, et après l'avoir soigneusement fermé, nous l'avons suspendu dans un récipient plein d'eau. La nitroglycérine recouvrit rapidement la surface extérieure de la toile : au bout de huit jours, elle s'était entièrement précipitée au fond du récipient et avait remplacée par l'eau dans l'intérieur du sac.

Une expérience faite avec la toile à bâche

dite *imperméable* (au savon de cuivre) a fourni le même résultat.

4° On introduisit la dynamite dans un osmogène fermé à la partie inférieure par un disque en papier parchemin et plongé dans l'eau; quelques jours après, l'eau avait pénétré dans l'osmogène, tandis que la nitroglycérine s'était rassemblée à la partie inférieure de l'appareil.

La dynamite humide détone sous l'influence d'une amorce. Mais quand la portion d'eau est considérable, l'explosion peut être partielle ou nulle.

Dans de récentes expériences faites à ce sujet au mont Valérien, nous avons introduit un excès d'eau dans un récipient rempli de dynamite, le mélange a été légèrement agité. L'amorce ne produisit l'explosion que d'une faible partie de dynamite, le reste fut projeté violemment.

Dans le cas cependant d'une dynamite tassée dans un récipient fermé, l'introduction de l'eau sans agitation n'aurait pas la même influence.

Action du froid.

Sous l'action d'un froid prolongé, la dynamite se prend en une masse d'une certaine dureté, par suite de la congélation de la nitroglycérine.

La dynamite gelée conserve longtemps son état physique, jusqu'à + 10 degrés. Au delà, l'élévation de température lui rend rapidement ses propriétés primitives.

Le poids de fulminate de mercure nécessaire pour faire détoner la dynamite à la température de 15 à 20 degrés, devient insuffisant en présence du froid.

Néanmoins nos essais nous ont démontré qu'à de très-basses températures (— 15 à — 16 degrés), la dynamite peut toujours détoner, si on emploie une quantité suffisante de fulminate. La dynamite peut donc être utilisée même dans les hivers les plus rigoureux. Par un froid continu de — 10 à — 15 degrés nous avons dû employer 1 gramme à 1g,5 de fulminate pour faire détoner de la dynamite à 60 pour 100.

L'explosion d'une faible quantité de dynamite normale amène infailliblement celle de la dynamite gelée, du moins dans les trous de mine ou dans les récipients offrant une certaine résistance.

Généralement les ouvriers font dégeler la dynamite au bain-marie, ou en la maintenant pendant quelques instants dans leur poche. Il suffit d'ailleurs, d'après ce qui précède, de faire dégeler la cartouche porte amorce. Il est bien évident que dans tous les cas où la mine devra être chargée longtemps à l'avance, pendant les froids rigoureux, on sera obligé d'avoir recours aux amorces à forte charge de fulminate.

La dynamite préparée avec de la nitroglycérine acide peut se décomposer spontanément à la longue, sous l'action de la chaleur solaire. Dans cet état elle laisse dégager une certaine quantité de vapeurs nitreuses qui par leur odeur avertissent du commencement de la décomposition. On peut parer à cet inconvénient par l'addition d'une petite quantité de craie (carbonate de chaux) qui neutralise les acides libres et empêche leur action sur la nitroglycérine.

On a prétendu à tort que la dynamite pouvait se décomposer spontanément et laissait écouler à la longue une partie de la nitroglycérine qu'elle ren-

ferme. Dans les conditions ordinaires, ces faits ne se sont jamais présentés avec la dynamite convenablement préparée : sa stabilité est égale ou supérieure à celle de la nitroglycérine et ce n'est qu'en présence de l'eau ou de certains liquides que la séparation peut avoir lieu.

Théorie de M. Berthelot sur les effets obtenus avec la dynamite (1).

« La dynamite est un mélange de nitroglycérine avec certaines matières solides et spécialement avec certaines variétés de silice ou d'alumine.

« M. Nobel l'a proposée pour obvier aux terribles effets qui résultent de la propagation des chocs dans la nitroglycérine liquide. Montrons que les théories thermiques sont favorables à l'emploi de la dynamite.

« La dynamite est en effet moins brisante que la nitroglycérine, parce que la chaleur dégagée se partage entre les produits de l'explosion et la substance inerte. Par suite la température s'élève moins, ce qui diminue d'autant les pressions initiales. Par exemple, la silice et l'alumine anhydres ont à peu près la même chaleur spécifique (0,19) que les produits gazeux de l'explosion de la nitroglycérine, à volume constant. A poids égaux et dans une capacité complétement remplie, elles abaisseront à moitié la température, et par suite la pression initiale, d'après la formule

$$P_2 = (1 + \alpha t_2) \frac{V_1}{V_2}$$

(1) *Comptes rendus de l'Académie.*

Pour un même poids de nitroglycérine, les propriétés brisantes seront donc atténuées proportionnellement au poids de la matière inerte mélangée, tandis que le travail maximum conservera la même valeur, étant toujours proportionnel au poids de la nitroglycérine. Les mêmes circonstances rendront plus difficile la propagation de l'inflammation simple d'une petite portion de la masse dans les parties voisines, attendu que celles-ci détonent seulement lorsqu'elles sont portées à une température approchant de 190 degrés; la détonation même exigera une commotion initiale plus forte pour avoir lieu.

« Si la déflagration est produite par le choc d'un corps dur ou d'une fusée fulminante, les particules solides interposées dans le liquide répartiront la force vive du choc entre la matière inerte et la matière explosive, et cela dans une proportion qui dépendra de la structure de la matière inerte. Celle-ci change ainsi la loi de l'explosion et introduit dans les phénomènes une extrême variété, ainsi qu'il résulte des expériences de M. Nobel et de celles de MM. Girard, Millot et Vogt sur la nitroglycérine mélangée avec la silice, l'alumine, ou l'éthal ou le sucre.

« Il est d'ailleurs évident que les effets utiles de la matière inerte ne se produiront complétement que si le mélange est homogène et sans aucune séparation de nitroglycérine liquide; car le liquide exsudé conserve toutes ses propriétés. De là encore la nécessité d'une structure spéciale dans la matière solide. Au lieu de diminuer l'intensité des effets de la nitroglycérine, on peut réussir à les accroître par certaines additions. En effet, l'explosion laisse 1 équivalent

d'oxygène disponible, ainsi qu'il a été dit. On peut employer cet oxygène à brûler une petite quantité de matière combustible additionnelle, par exemple quatre centièmes de soufre, deux centièmes d'alcool, ou bien encore un centième de carbure d'hydrogène. On augmente ainsi de près d'un dixième la chaleur produite à poids égal, sans changer sensiblement le volume du gaz. Au delà de ces proportions, les matières combustibles additionnelles changent la nature des réactions chimiques. »

M. Berthelot, pour expliquer l'explosion de la nitroglycérine sous l'influence d'une amorce détonante, fait intervenir simultanément la force vive et la chaleur.

M. Abel admet qu'il suffit d'une première vibration mécanique capable d'impressionner la nitroglycérine seule ou à l'état de dynamite.

On pourrait peut-être, à propos de cette seconde opinion, rapprocher ce phénomène de celui qui se manifeste dans les célèbres expériences de M. Tyndall.

On sait qu'une flamme d'hydrogène ou de gaz, introduite dans un tube en verre à large section, détermine une série de vibrations qui produisent un son variable avec l'intensité et la hauteur de la flamme, l'épaisseur des parois du tube et sa longueur. Cet appareil est connu sous le nom de *lampe philosophique*. Si l'on ferme avec le doigt pendant quelques secondes la partie supérieure du tube, de manière à intercepter le courant d'air, le son cesse et ne recommence que si on produit, à l'aide de la voix ou d'un instrument de musique quelconque, la note exacte donnée

primitivement par la flamme. Cette expérience,
l'on peut faire avec un piano, demande quel
soins, et dans ce cas on doit commencer par ré
l'appareil sur une note déterminée, en raison de
paces musicaux qui séparent les notes entre
dans cet instrument imparfait. Tout autre son
sans influence sur la flamme, et la plus légère
rence dans le nombre des vibrations empêche la
nifestation de ce phénomène.

On peut admettre que l'explosion de la dyn
a lieu par suite d'un fait analogue et que les v
tions occasionnées par la détonation de l'amorce
de telle nature, qu'elles seules peuvent provoqu
décomposition instantanée de la dynamite.

M. Abel a démontré en effet que certains com
explosifs plus énergiques que le fulminate de
cure sont sans action sur la dynamite.

Ce rapprochement ingénieux est dû à M. H. P

Dans le même ordre d'idées, M. Helmoltz a
giné un appareil doué d'une grande sensibilité,
permet de séparer un son simple des sons conc
tants plus ou moins intenses qui accompagnent
jours le timbre d'un instrument.

Cet appareil se compose d'une série de *résonn*
formés de sphères métalliques creuses de diffé
grosseurs, et percées d'une ouverture dont le
mètre est tel, que chacune des sphères ne peu
forcer qu'un son simple et déterminé à l'avanc
résonnateurs sont accompagnés de diapason
servent à reconnaître la nature du son renforcé

Pour analyser un son composé, il suffit d'éc
ceux des résonnateurs qui ont été mis en vib

et de faire jouer les diapasons correspondants. Pour rendre plus facile l'observation de l'ensemble du phénomène, on a adopté la disposition suivante :

Sur un montant vertical et selon l'ordre de la gamme, on fixe les résonnateurs percés d'une seconde ouverture beaucoup plus petite que la première, et qui sert, à l'aide d'un tube, à faire communiquer l'intérieur de la sphère creuse avec un bec de gaz très-petit.

Les becs de gaz sont construits de telle sorte que leur flamme soit immédiatement agitée par les vibrations produites dans la sphère correspondante par un son simple renforcé.

Les flammes sont placées dans un plan vertical et se réfléchissent sur un miroir tournant. On comprend qu'avec cette disposition, lorsqu'on produira un son composé, il ne pourra faire vibrer les résonnateurs et par conséquent les flammes qu'à la condition de se diviser en sons simples qui, suivant leur nature, seront renforcés par le résonnateur. A l'aide des images produites par les flammes sur le miroir tournant, on distinguera les résonnateurs muets de ceux mis en vibration : les premiers détermineront sur l'œil l'impression d'une bande lumineuse, tandis que les secondes produiront une série de petites flammes distinctes. Il suffira donc de noter les flammes vibrantes pour connaître la composition du son. Cet instrument permettrait peut-être d'étudier les différentes espèces de vibrations produites par l'explosion des composés détonants.

Diverses espèces de dynamite.

La teneur de la dynamite en nitroglycérine doit varier avec les usages auxquels on la destine. Dans les cas où on voudra produire le plus grand effet possible sous le volume le plus restreint, on emploiera la dynamite à 75 pour 100 (coefficient maximum d'absorption pour la silice ordinairement employée).

Lorsque, au contraire, l'effort devra porter sur une grande surface, la proportion de nitroglycérine pourra varier de 25 à 50 pour 100 (1).

D'après nos essais sur les projectiles creux, en admettant les rapports qui existent pour notre artillerie entre le vide et l'épaisseur de la fonte, une dynamite à 25 pour 100 serait suffisante. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

L'usine de M. Barbe, concessionnaire des brevets de M. Nobel pour la France, livre au commerce deux espèces de dynamite.

Le n° 1 renferme :

Silice	25
Nitroglycérine. . .	75

La silice provient d'Allemagne ou de Suède. Elle est blanche. On donne parfois à la dynamite une couleur rosée par l'addition d'une petite quantité de colcothar.

(1) Ce fait est bien connu des mineurs qui mélangent la poudre avec de la sciure de bois ou autres corps inertes, afin d'augmenter le volume de la charge et, par conséquent, la surface d'action.

Le n° 1 s'applique spécialement à la roche extra-dure et aux travaux submergés.

Le n° 2, à la roche extradure et non aquifère. Elle contient un peu moins de nitroglycérine que le n° 1, et ne s'emploie pas généralement.

Le n° 3 s'applique à la roche dure et peu aquifère.

Les n°s 2 et 3 peuvent s'employer d'une façon courante dans les travaux submergés en prenant les mêmes précautions qu'avec la poudre ou en se servant de cartouches étanches.

D'après nos essais, la dynamite n° 3 est formée de:

Nitrate de soude. . .	70
Résine.	5
Nitroglycérine . . .	25
Colcothar.	traces.

On voit donc que c'est la variété des roches qui conduit à cette variété de production.

Lithofracteur. Dualine.

On emploie aussi en Angleterre et en Allemagne divers produits explosifs connus sous le nom de *lithofracteur*, de *dualine*, etc.

Ces produits ont pour base la nitroglycérine et peuvent être considérés comme des dynamites dans lesquelles la substance absorbante consiste dans des matières combustibles ou explosives, telles que la poudre, le pyroxile, la sciure de bois nitré, etc.

« Le lithofracteur (1) a la composition suivante :

(1) Trauzl, *Deutsche Industriezeitung*, n° 29, 1870.

Nitroglycérine	52	pour 100.
Kieselguhr (silice et sable)	30	—
Houille	12	—
Nitrate de soude	4	—
Soufre	2	—

« Le lithofracteur n'est donc autre que de la dynamite additionnée d'environ 20 pour 100 de poudre noire très-riche en charbon. Loin d'être préférable à la dynamite, le lithofracteur lui est inférieur Le lithofracteur s'enflamme à 120 degrés, tandis que la dynamite ne s'enflamme qu'à 180 degrés (1).

« La présence du nitrate de soude le rend hygroscopique. Le lithofracteur, par le charbon qu'il contient, produit en brûlant une grande quantité d'oxyde de carbone. Sa puissance dynamique, à volume égal, est inférieure à celle de la dynamite.

« La dualine est une matière explosive d'une composition préférable.

Elle se compose de :

Nitroglycérine	50
Sciure fine	30
Salpêtre	20 »

Nous avons constaté que les effets de brisement produits par la nitroglycérine ou la dynamite sont équivalents pour une même quantité de matière explosive. Quant aux effets de projection, ils nous ont paru être moindres avec la nitroglycérine qu'avec la dynamite. Dans un espace clos, le volume occupé par le corps explosif exerce une grande influence. Soit A le travail brisant maximum produit par la nitroglycérine, et B le travail projetant.

(1) Voir les *Propriétés* de la nitroglycérine.

Soit A' et B' pour la dynamite. On aura :

$$A + B = A' + B'.$$

[M]ais si la force brisante diminue, la force de projec[ti]on augmentera proportionnellement.

Les expériences à ce point de vue doivent évidem[m]ent être pratiquées dans des espaces confinés [é]gaux, afin de mettre à l'abri des diminutions de [tr]avail résultant des couches d'air, ainsi qu'il résulte [d]e la théorie de M. Berthelot.

Comparaison entre les effets de la dynamite, de la nitroglycérine et de la poudre.

Dynamite et nitroglycérine. — Grenade pesant [1k],070. Diamètre, 82 millimètres ; épaisseur, 1 cen[ti]mètre.

Dynamite à 25 pour 100, 40 grammes, soit [10] grammes de nitroglycérine.

L'explosion a fourni 48 éclats, dont plusieurs ont [tr]aversé des planches avoisinantes, tandis que d'au[tr]es allaient se loger dans leur épaisseur.

Même expérience faite avec 10 grammes de nitro[gl]ycérine : 44 éclats.

Dynamite et poudre. — 1° Grenade chargée avec [4]0 grammes de poudre de chasse. (Poids de la [gr]enade, 1^k,070 ; diamètre, 82 millimètres ; épais[se]ur, 1 centimètre.) La grenade était placée à 50 cen[ti]mètres sous terre, avec une charge d'un quart de [m]ètre cube de moellons.

Résultat : soulèvement et déplacement faible de [la] masse de moellons ; 12 à 15 éclats.

2° Une grenade pareille a été chargée de 165 gram-

mes de dynamite (à 25 pour 100) : on a eu environ 200 éclats.

Soulèvement de la masse de moellons analogue à celui qu'a donné la poudre.

3° Grenade chargée de 100 grammes de dynamite (à 25 pour 100). Le tas de moellons est à peine ébranlé.

Nombre des éclats, environ 80.

L'explosion des deux grenades chargées de dynamite avait déterminé la formation dans la terre d'une chambre sphérique de 30 centimètres de diamètre.

4° 25 grammes de dynamite semblable ont donné 18 à 20 éclats, sans effet de projection.

Enfin, 10 grammes n'ont produit aucun effet.

Le nombre des éclats a été calculé, dans ces expériences, en prenant un nombre déterminé de ceux-ci et en rapportant leur poids à celui de la grenade.

Quoique la principale propriété de la dynamite soit son action brisante, elle peut néanmoins donner lieu à des effets remarquables de projection. Pour le montrer, on a fait éclater à plusieurs reprises des boîtes en fer-blanc mince, contenant 2 kilogrammes de cette substance, à 25 centimètres à peu près de distance d'une épaisse plaque de tôle.

Après chacune des explosions, on a pu constater que les éclats du fer-blanc avaient criblé la surface de la tôle d'une quantité de trous de 2 à 3 millimètres de profondeur; cette profondeur a même atteint 5 millimètres pour quelques trous (Barbe).

MODES D'EXPLOSION.

Mèches de mines et de guerre.

Les mèches dont on fait généralement usage sont s mèches Bickford, dont le prix est peu élevé et ont la combustion s'opère d'une manière très-réulière.

Ces mèches sont de trois espèces : 1° mèches ordiaires, 2° mèches rubanées, 3° mèches en guttaercha.

Mèches ordinaires. — Elles se composent d'une me remplie de pulvérin fixé autour d'un fil et reouverte de chanvre; une corde mince entoure en ιélice la mèche dans toute sa longueur et en assure a solidité. Ces mèches sont ensuite plongées dans lu goudron de gaz ou du coaltar. On les saupoudre le plâtre ordinaire en poudre fine, afin d'éviter 'adhérence aux mains et le ramollissement par la haleur.

A l'air libre, la combustion se produit à raison de '5 centimètres environ par minute; dans un trou de nine bourré, la combustion est beaucoup plus lente. On peut employer cette mèche dans les terrains noyés, à la condition de ne la laisser que peu de temps au contact de l'eau. On doit, dans ce cas, éviter soigneusement de la plier ou de rompre la gaîne de goudron qui l'entoure.

Mèches rubanées. — Elles sont analogues aux précédentes, mais de plus recouvertes d'un ruban en

toile goudronnée, ce qui permet de les employer dans les endroits humides et même sous l'eau.

Mèches en gutta-percha. — Dans ces mèches, le chanvre est recouvert d'une couche de gutta-percha. On peut les plier sans crainte de rompre l'enveloppe et de mettre à nu le pulvérin. Elles sont destinées aux travaux sous-marins et peuvent rester indéfiniment submergées. Leur prix est plus élevé que celui des deux autres espèces. Les gaz, qui se dégagent rapidement pendant la combustion des mèches, empêchent l'eau d'arriver au contact du pulvérin et de l'éteindre.

On trouve aussi dans le commerce des mèches qui portent le nom de *mèches blanches* et qu'on peut employer avec succès; cependant leur préparation ne paraît pas aussi soignée que celle des mèches que nous venons de décrire.

Ces diverses mèches se vendent par rouleaux de 10 mètres. Pour éviter tout danger, il est utile d'essayer chacun d'eux; pour cela, on coupe à chaque extrémité une longueur de 1 à 2 décimètres qu'on allume pour s'assurer que la combustion s'opère graduellement.

Dans certains cas, fort rares, il est vrai, une fabrication défectueuse a pour résultat une inflammation rapide du pulvérin.

Durée de combustion des diverses mèches à l'air libre.

Mèche Bickford ordinaire, 1 mètre, brûle en 82 secondes.
— rubanée, 1 mètre, brûle en 87 secondes.
— blanche, 1 mètre, brûle en 73 secondes.

Pour se servir de la mèche ordinaire, sous l'eau,

les mineurs l'enduisent souvent de graisse ou d'huile.

L'emploi de cette dernière substance peut amener de graves accidents. En effet, l'huile pénètre assez rapidement jusque dans l'intérieur de la mèche et ralentit considérablement la combustion du pulvérin, à tel point qu'une mèche qui durerait ordinairement une minute peut mettre plusieurs heures à se consumer lorsqu'elle est imprégnée d'huile. Il peut arriver alors que le mineur, croyant le coup raté, s'approche de la mine au moment où l'explosion se produit et soit par conséquent exposé aux plus grands dangers. Avec la graisse, cet effet de pénétration ne se produit qu'au bout d'un temps assez long, mais dans tous les cas il vaut mieux employer le goudron ou le coaltar. Nous devons ces observations à l'expérience de M. Barbe.

Raccords des mèches Bickford. — En temps de guerre, il peut être nécessaire de relier plusieurs mèches bout à bout ou à angle droit, par exemple lorsqu'il s'agit de communiquer le feu successivement à plusieurs fougasses ou fourneaux de mine.

Dans le premier cas, on peut employer des tubes minces en cuivre, longs de 2 à 3 centimètres et de même diamètre que la mèche. Les deux bouts de mèche étant fraîchement coupés perpendiculairement à leur axe, on les introduit dans le tube en métal jusqu'à ce qu'ils se rejoignent; pour les maintenir, on pince fortement les deux extrémités du tube et on recouvre les joints de goudron ou de gutta-percha.

Cette dernière substance est préférable, attendu que ses propriétés adhésives augmentent la solidité

du joint et lui permettent de résister à une traction qui serait exercée sur la mèche.

Dans le deuxième cas, on se sert de petits tubes soudés en forme de T, dans lesquels on dispose les extrémités des mèches comme nous venons de le décrire. On coupe la mèche générale à l'endroit où doit avoir lieu le branchement dans le tube de cuivre et on taille en double biseau la mèche à raccorder, afin d'assurer le contact des trois extrémités.

Les *épissures*, qu'il est difficile de faire sans laisser échapper le pulvérin, deviennent presque impraticables par les temps de gelée. Du reste, elles ne présentent aucune garantie de solidité. Au contraire, les opérations que nous venons de décrire se font très-rapidement. L'emploi de la lampe à souder, peu influencée par le vent, permet d'appliquer facilement la gutta-percha en tout temps.

En suivant cette méthode, M. Pellet, notre collaborateur, a pu en quelques heures établir un certain nombre de fougasses destinées au sautage de batteries, près Drancy, pendant le siége de Paris.

Pour communiquer rapidement le feu à la mèche Bickford, les mineurs ont l'habitude de fendre longitudinalement l'extrémité de la mèche sur une faible longueur. Quelquefois aussi on pratique près de l'extrémité une incision oblique assez profonde pour mettre à nu le pulvérin. Il suffit, dans les deux cas, pour enflammer la mèche, d'ouvrir l'entaille et d'approcher de la poudre un corps en ignition (mèche à canon ou de fumeur).

La deuxième disposition permet de transporter la mèche sans crainte que le pulvérin ne tombe, si on

a soin de rapprocher les bords et de les serrer entre les doigts de manière à mettre en contact les surfaces goudronnées.

On ne doit pas se servir d'un corps enflammé pour mettre le feu aux mèches, l'enveloppe de chanvre goudronnée pouvant, dans ce cas, brûler et amener la combustion de la dynamite.

On a essayé de remplacer la mèche Bickford par des fusées à combustion lente, formées de poudre comprimée; avec ces engins, la détonation de l'amorce ne se produit pas régulièrement. De plus, il est nécessaire de ménager dans la mine un vide au moyen de l'épinglette, afin que l'amorce projetée par la fusée vienne au contact de la dynamite (1). Ces fusées, généralement d'une faible longueur, peuvent, quand elles sont mal fabriquées, s'enflammer rapidement dans toute leur étendue et donner lieu à des accidents. Elles ont d'ailleurs, en temps de guerre, l'inconvénient grave de produire une lueur assez intense pour attirer l'attention de l'ennemi.

Cordeau porte-feu instantané. — Ce cordeau est

(1) On ne peut pas dans l'emploi de la dynamite se servir de la méthode généralement suivie par les mineurs et qui consiste, après le chargement de la poudre, à introduire dans la mine une tige en cuivre nommée *épinglette*, autour de laquelle on opère le bourrage, avec un instrument spécial découpé à son extrémité de manière à laisser passer sa tige de cuivre.

En retirant cette dernière, le vide qu'elle laisse forme un canal à l'entrée duquel on dispose un chalumeau de paille rempli de poudre, à laquelle on communique le feu au moyen d'un fragment d'amadou.

Le jet de flamme pénètre jusqu'au fond de la mine et met le feu à la poudre.

formé de trois mèches recouvertes de poudre et réunies dans une enveloppe en toile cirée revêtue de gutta-percha ; le tout est enfermé dans un treillis en corde mince.

Lorsqu'on allume un point quelconque de ce cordeau, l'inflammation se communique instantanément sur une grande longueur.

Il est facile de réunir plusieurs bouts ou de faire des branchements avec le cordeau général en employant la méthode que nous avons indiquée pour la mèche Bickford.

Au moyen de ce cordeau on peut faire détoner dans un espace de temps inappréciable plusieurs fougasses ou fourneaux séparés les uns des autres par une distance assez considérable (1). Le feu se communique au moyen d'un bout de mèche Bickford relié au cordeau d'une manière quelconque.

Des amorces.

Des amorces. — Les amorces destinées à produire l'explosion de la dynamite consistent en tubes minces de métal, fermés à une extrémité et d'un diamètre un peu plus large que celui des mèches. Leur longueur est en général de 2 à 3 centimètres. Ces amorces renferment du fulminate de mercure pur ou mélangé de nitrate de potasse (2). Ce mélange di-

(1) On fixe directement les amorces sur le cordeau porte-feu en mettant à nu les trois mèches intérieures, et en les insérant dans l'amorce comme pour la mèche Bickford.

(2) Pour le cas où on ne pourrait se procurer des amorces, nous indiquerons le mode de préparation du fulminate de mercure. On dissout à chaud 1 partie de mercure dans 10 parties d'acide

minue la violence de l'explosion de l'amorce. Néanmoins quelques fabricants l'emploient, attendu qu'il offre moins de danger entre les mains des ouvriers chargés de préparer ces engins.

Dans cette opération, en effet, on comprime fortement le fulminate au moyen d'un balancier, afin d'obtenir l'agglomération et l'adhérence aux parois de l'amorce. On comprend que l'emploi du fulminate pur augmente les chances d'accident sous l'influence de chocs ou d'une pression violente.

Il faut éviter de recouvrir la surface du fulminate avec un vernis, comme on le fait pour les capsules ordinaires ; l'inflammation par les mèches pourrait devenir irrégulière. Contrairement à ce qu'ont pensé quelques fabricants, la partie inférieure de l'amorce ne doit jamais être perforée. Non-seulement cette disposition n'offre aucun avantage, mais encore elle rend possible une déperdition de fulminate. On rencontre aussi dans le commerce des amorces contenant du fulminate pulvérulent. Pour empêcher qu'il ne s'échappe, on place à la partie supérieure de l'amorce un petit tampon de coton-poudre.

En employant cette méthode, on peut préparer soi-

azotique du commerce. Quand la dissolution est complète, on laisse la température s'abaisser à 55 degrés centigrades, et on ajoute peu à peu 8 parties d'alcool à 83 degrés. Au bout de quelque temps, des fumées blanches apparaissent, le liquide s'échauffe et se trouble. Quand la réaction est terminée, on décante le liquide, on lave le produit qui s'est déposé sous forme de petits cristaux, on les égoutte et on les sèche à l'air. Obtenu dans ces conditions, le fulminate est d'un gris jaunâtre ; on peut le purifier en le dissolvant dans l'eau bouillante et en le soumettant à des cristallisations successives.

même les amorces, mais le commerce ne livre en général que du coton-poudre défectueux ou altéré ; nous indiquerons donc la manière de préparer ce produit.

Préparation du coton-poudre ou pyroxyle. — On prépare le coton-poudre avec du coton cardé, blanc et bien exempt de matières étrangères.

On le sèche à l'étuve et on l'introduit dans un mélange, refroidi à l'avance, de 7 parties d'acide sulfurique à 66 degrés et 3 parties d'acide azotique fumant. L'immersion doit durer environ vingt minutes. Il faut éviter que le coton surnage ; dans ce cas, en effet, l'action de l'air modifie la réaction qui peut se manifester par une vive ébullition du liquide accompagnée d'un dégagement de vapeurs d'acide hypoazotique.

On lave ensuite le coton-poudre sous un filet d'eau en exprimant le liquide ; ce lavage doit être prolongé. L'eau de lavage peut être neutre aux réactifs, tandis que les fibriles de coton renferment encore des traces d'acides dans leur intérieur. On sait, en effet, que les fibres du coton sont formées d'une série de petits tubes réunis entre eux et présentant une certaine résistance.

Dans la fabrication en grand, on enlève au moyen de turbines l'excès d'acide, qui peut servir à des opérations ultérieures, et on lave le coton en l'introduisant pendant plusieurs jours dans des espèces de cages à poisson qu'on place dans un cours d'eau. Le lavage s'opère ainsi sans main-d'œuvre et d'une manière complète. On peut encore enlever les dernières traces d'acide avec une solution faible de carbonate de soude, ou mieux de bicarbonate. Mais cette mé-

thode ne présente pas grand avantage, car on doit ensuite continuer le lavage jusqu'à entraînement du nouveau sel formé. Si on néglige cette précaution, le coton-poudre brûle difficilement.

Le pyroxyle une fois lavé est essoré ou pressé. On le sèche dans des étuves à eau. Les étuves à air chaud ont occasionné de graves accidents pendant la dessiccation. Il suffit, en effet, qu'un filet d'air porté à une température élevée rencontre le pyroxyle pour que l'inflammation se produise. Le thermomètre ne peut avertir de ce danger, car il n'indique que la température moyenne des divers filets d'air qui traversent l'étuve.

Dans certains cas on a constaté la décomposition spontanée du pyroxyle. Ce fait doit être attribué soit à un lavage insuffisant qui aurait laissé subsister des traces d'acides, soit à la présence dans le coton de granules amylacés (fécule, amidon) qui, en présence des acides destinés à préparer le coton-poudre, se transforment en pyroxam, produit instable et pouvant se décomposer sous l'action des rayons solaires ou d'une chaleur de 100 degrés.

Le pyroxyle chimiquement pur paraît se conserver indéfiniment sans décomposition. Quand la préparation est défectueuse, on évite l'altération ultérieure en le maintenant sous l'eau.

La quantité de fulminate de mercure nécessaire pour provoquer l'explosion de la dynamite varie suivant la température.

Quelques décigrammes de fulminate suffisent en été. Pendant de grands froids, la charge devra être de 1 gramme à 1g,4 pour la dynamite gelée.

On conçoit de plus que la quantité de fulmin
nécessaire sera d'autant plus grande que la dynam
sera plus pauvre en nitroglycérine.

Les amorces qu'on trouve dans le commerce c
tiennent généralement 15 centigrammes à 3 dé
grammes de fulminate.

Les amorces *triples* de M. Nobel en renferment
7 à 8 décigrammes.

Il y a toujours intérêt à employer des amorce
forte charge. On prévient ainsi les *ratés* dans les
où le bourrage, mal effectué, aurait pour con
quence de séparer l'amorce de la dynamite.

Dans des espaces clos, en effet, les amorces trip
peuvent amener la détonation de la dynamite à p
sieurs centimètres de distance.

Lorsqu'on n'a pas d'amorces à sa disposition,
peut employer la poudre pour obtenir le même
sultat.

La méthode la plus simple consiste à prendre
petits tubes minces en métal pouvant contenir en
ron 10 grammes de poudre de chasse. On les bou
à une extrémité au moyen d'un bouchon en bois
on les remplit de poudre dans laquelle on fait pl
ger la mèche qu'on fixe en serrant les parois du t
à l'aide d'une pince.

Ce pétard doit être placé dans la dynamite, en p
nant les précautions que nous indiquons plus l
pour les autres amorces.

Malgré la simplicité de cette méthode, on doit
préférer l'emploi des amorces au fulminate, qui
traînent moins fréquemment des ratés.

Quelle que soit la disposition des amorces, la mè

destinée à leur communiquer le feu doit être solidement fixée dans le vide qui existe entre le fulminate et la partie supérieure du tube (les amorces ne sont chargées que jusqu'au tiers de leur hauteur). On coupe la mèche, on l'introduit dans l'amorce au contact de la charge et on l'assujettit comme nous venons de le dire. Quand les mèches sont préparées à l'avance et qu'elles doivent être transportées et subir l'action de la pluie, notamment dans les opérations de guerre, ou recouvre le joint de graisse fondue, ou mieux de gutta-percha, qui en assure en même temps la solidité. Nous avons toujours obtenu de bons résultats en employant simplement la gutta-percha fondue pour fixer l'amorce sans serrage.

Lorsque le fulminate est pulvérulent, un serrage même défectueux suffit pour assurer l'explosion. Mais il n'en est plus de même quand on emploie des amorces dans lesquelles le fulminate est comprimé et surtout additionné de nitrate de potasse.

La compression et les sels étrangers ralentissent la combustion, et si le serrage n'a pas été fait avec soin la mèche est projetée sans produire l'inflammation du fulminate.

Pour les opérations de guerre, il est utile d'employer des amorces faites avec des tubes d'une certaine longueur, 8 à 10 centimètres, ou du moins de recouvrir la mèche à sa partie inférieure de substances empêchant sa combustion extérieure. Sans cette précaution, la mèche, enfoncée trop profondément par les soldats inexpérimentés, peut communiquer le feu à la dynamite, dont une partie brûle alors

en pure perte et en diminuant d'autant la puissance de l'explosion.

Des ratés.

Les ratés proviennent en général de la mauvaise disposition des amorces.

On doit à tout prix les éviter dans les opérations de guerre, où une explosion manquée peut compromettre la vie d'un grand nombre d'hommes et entraîner les plus graves conséquences.

Les causes des ratés sont nombreuses ; nous allons les passer en revue :

1° Amorce mal fixée à la mèche, surtout dans le cas du fulminate comprimé ou mélangé d'une forte proportion de nitrate de potasse ;

2° Mèches défectueuses ;

3° Distance trop grande entre l'amorce et la dynamite. Avec les amorces renfermant une forte charge de fulminate, cet accident est moins à craindre ;

4° Influence du froid et charge insuffisante de fulminate ;

5° Amorce placée au fond du récipient ou de la cartouche.

En introduisant l'amorce ordinaire, surmontée de la mèche jusqu'à la partie inférieure de la cartouche, il arrive fréquemment que toute la dynamite brûle avant que l'amorce ne détone. Dans tous les cas, on doit avoir soin de placer l'amorce ordinaire de telle sorte qu'elle dépasse la surface de la dynamite ;

6° Lorsqu'on emploie le coton-poudre pour boucher les amorces, il est utile de le retirer avant de placer la mèche, ou du moins de n'en laisser qu'une

faible proportion. Lorsque l'amorce n'est pas suffisamment serrée, l'inflammation du pyroxyle, surtout s'il est de bonne qualité, peut être assez rapide pour projeter la mèche sans enflammer le fulminate de mercure.

On sait en effet qu'un fragment de coton-poudre, placé sur la poudre ordinaire et sur diverses matières détonantes, peut être enflammé sans que sa combustion rapide provoque celle de ces matières.

Dans le cas d'un raté, nous rappellerons qu'on ne doit décharger une mine que longtemps après la mise à feu, et que dans l'emploi de la dynamite on doit prendre de grandes précautions quand le débourroir approche de l'amorce; un coup violent, même avec un morceau de bois, pouvant la faire détoner.

Dans ce cas, il vaut mieux laisser quelques centimètres de bourrage au-dessus de la charge et rajouter une cartouche amorcée. Cette dernière suffit presque toujours pour déterminer l'explosion de la dynamite sousjacente.

Nous ne saurions trop insister sur ces diverses précautions : chaque année l'emploi des substances explosives dans les mines est la cause de nombreux accidents, dus pour la plupart du temps à l'imprudence des mineurs.

Des cartouches, récipients, sacs, etc.

Les fabriques de dynamite livrent en général cette substance sous forme de cartouches d'une longueur de 11 à 12 centimètres sur 3 centimètres de diamètre; ces dimensions n'ont cependant rien de fixe. Elles ont

été adoptées comme répondant aux besoins des mines. Ces cartouches sont faites en papier parcheminé dont les extrémités sont repliées sur elles-mêmes (1). Ce papier, outre une certaine imperméabilité, est doué d'une roideur qui facilite l'introduction de la cartouche dans les trous de mine. Il présente aussi l'avantage de ne pas laisser exsuder la nitroglycérine, même quand l'eau pénètre dans la dynamite.

On fabrique aussi des cartouches plus petites, pesant environ 25 grammes et servant de porte-amorces.

Dans les terrains aquifères, suivant la composition de la dynamite qu'on emploie, il est parfois utile de préserver les cartouches du contact de l'eau.

On obtient ce résultat en collant les joints de la cartouche et en la recouvrant d'un vernis imperméable. Si on n'a pas à sa disposition de papier parcheminé, on peut le remplacer par du papier ordinaire, goudronné ou imprégné d'huile siccative.

Dans les opérations de guerre, on a eu recours à des sacs en toile imperméable (2), auxquels on donnait des formes différentes, suivant les applications auxquelles on les réservait. Ces sacs ont le grave inconvénient de laisser tamiser la dynamite quand cette dernière est pulvérulente, et dans tous les cas de permettre à la nitroglycérine de s'écouler en

(1) Le papier parcheminé, qui est à présent un produit commercial, se prépare en plongeant rapidement dans l'acide sulfurique à 2 équivalents d'eau (60 degrés) des feuilles de papier non collé qu'on lave ensuite jusqu'à exclusion de toute trace acide.

(2) Cette toile est imprégnée de savon de cuivre qui empêche sa détérioration en présence de l'humidité, mais qui n'est pas un obstacle à l'entrée de l'eau par un contact prolongé.

présence de l'eau. Dans les travaux sous-marins on peut employer avec succès des sacs en toile caoutchoutée. La flexibilité de l'enveloppe permet de les appliquer sur les rochers ou dans les cavités naturelles, et d'augmenter par là la surface de contact.

Récipients.

Les récipients destinés à contenir la dynamite pour les travaux sous-marins peuvent être en bois ou en métal, à la condition d'être étanches. Dans différents essais, nous avons employé des caisses en bois imparfaitement recouvertes de goudron. L'eau ayant pénétré par les joints en raison de la pression qui augmente avec la profondeur d'immersion, la dynamite a laissé écouler la nitroglycérine dont une portion était réunie à la partie inférieure du récipient, tandis qu'une autre s'était échappée. Non-seulement dans ces cas on manque le but qu'on s'était proposé, mais de plus on se trouve exposé aux dangers que présente la nitroglycérine. Il vaut mieux employer des récipients en métal, zinc ou fer-blanc, auxquels on donne la forme nécessitée par les circonstances.

Pour le sautage des murs, batteries, maisons, portes, etc., où il est nécessaire de transporter sur le lieu de l'action des quantités plus ou moins considérables de dynamite, les soldats peuvent porter facilement en campagne des boîtes renfermant environ 2 kilogrammes de matière et suspendues à l'épaule au moyen d'une courroie. Ces boîtes seraient munies d'une ouverture circulaire surmontée d'un bouchon

pouvant s'enlever rapidement et par laquelle on introduirait la mèche amorcée.

On assure l'explosion de toutes les boîtes en les mettant au contact et en amorçant l'une d'elles. Néanmoins plus les charges de dynamite sont considérables, plus la distance qui les sépare peut être grande.

Nos premiers essais dans ce sens ont porté sur des boîtes en fer-blanc plates, de 3 centimètres de haut sur 6 centimètres de diamètre, contenant 40 à 50 grammes de dynamite à 50 pour 100 et placées de champ à 3 centimètres l'une de l'autre.

A des distances plus grandes l'explosion devenait incertaine.

La dynamite gelée se comporte de même.

Les essais ont été faits avec des sacs renfermant 200grammes de dynamite à 50 pour 100 et placés à 20 centimètres l'un de l'autre.

Dans un espace clos, l'explosion d'une petite quantité de dynamite peut faire détoner une cartouche à une distance de plus de 1 mètre.

« Dans un tuyau à gaz en plomb, de cinq quarts de pouce de diamètre et de 6 pieds de long, j'engageai à chaque extrémité une cartouche d'environ 17 grammes. Le feu fut mis à un des bouts seulement et néanmoins les deux cartouches firent explosion ensemble. L'énorme pression de l'air renfermé dans le tuyau, se propageant instantanément, agit comme l'eût fait l'explosion directe et interne d'une composition fulminante. » (Barbe).

Emploi de l'électricité.

loi de l'électricité dans les travaux indus-
appelé à rendre de grands services. Outre
e méthode supprime les dangers toujours
s à l'emploi des mèches, elle permet de plus
la simultanéité des coups de mine.

mprend que, quand on attaque des masses
es de métal ou de rocher, chaque explosion,
le ses effets de dislocation, produit un ébran-
[ui peut être annulé en partie par l'élasticité
tière; tandis qu'au moyen d'une série d'ex-
simultanées, la masse est soumise à une ac-
isaillement qui contribue puissamment à sa
;ation. Quant aux opérations de guerre, les
s, fourneaux de mine et divers autres engins
ise nécessitent l'emploi de l'électricité, qui
sans compromettre la vie des soldats, de pro-
s explosions à des moments déterminés, et
1e manière certaine, en se conformant aux
ons qu'exige cette méthode.

ée d'appliquer l'électricité à l'inflammation
es est très-ancienne. Dès 1767, le docteur
r essayait de mettre le feu à la poudre au
l'une étincelle produite par une machine à
de verre et d'une bouteille de Leyde ; Is-
ı 1776, continua ces essais.

ɔt, en 1805, proposa d'isoler les fils conduc-
les enfermant dans un auget en bois bien
é d'huile.

Allemagne, de 1825 à 1830, Winter, Varren-
Golzmann, puis à New-York, en 1831,

M. Moses Shaw, obtinrent des résultats de plus plus satisfaisants en employant l'étincelle électriq pour produire l'explosion de la poudre.

« En France, en 1832, le lieutenant Fabien fit l'é sai des mines militaires d'un système dans lequ l'étincelle mettait le feu à une amorce de fulmina de mercure, corps plus facilement inflammable q la poudre.

« En 1841, le commandant Bauchetet se servit la pile de Bunsen, en profitant avec succès d'un fa observé pour la première fois en 1811 par Thénar et consistant dans l'incandescence d'un fil de plati très-mince sous l'action d'un courant. Ce procédé f perfectionné en 1861 par le capitaine Guyot.

« MM. Mereau et Du Moncel, en France, et pl tard, en 1857, MM. Weatstone et Abel, en Angl terre, obtinrent des effets remarquables au moy de l'électricité d'induction (1). »

L'emploi de l'électricité demande :

1° Un fil conducteur;

2° Une amorce ;

3° Un appareil destiné à produire l'électricité.

Des fils.

Les fils servant à conduire l'électricité sont de deu sortes :

Les fils terrestres et les fils sous-marins.

1° Les fils terrestres sont en général formés pa l'assemblage et bence de trois, quatre, cinq ou se

(1) ...rial du génie, n° 17, 1864.

fils de cuivre rouge (rosette), d'un diamètre de moins de 1 millimètre, et recouverts de gutta-percha. Un fil analogue, mais à un seul conducteur, sert à relier l'amorce. L'épaisseur de la couche de gutta-percha varie avec les usages auxquels sont destinés les fils et avec les chances d'usure et de détérioration.

2° Les fils sous-marins diffèrent souvent des premiers par une enveloppe de chanvre goudronnée qui les protége contre les frottements et les autres causes d'altération.

L'addition de métaux étrangers au cuivre destiné à fabriquer les fils en diminue le pouvoir conducteur.

Tableau de la conductibilité électrique de différents métaux.

Mercure.	1,8
Platine	8
Plomb.	9
Fer.	12,3
Etain.	14
Zinc	24
Or recuit.	65
Cuivre recuit.	92
Argent recuit.	100

Longueur réduite. — En France on rapporte la résistance des métaux à une unité représentée par 100 mètres de fil de fer de 4 millimètres de diamètre, servant aux lignes télégraphiques.

La résistance des fils est en raison directe de leur longueur et en raison inverse de la conductibilité et du carré de leur diamètre.

D'après cela, connaissant la résistance d'un fil et

sa conductibilité, on peut en déterminer sa longueur équivalente ou réduite.

On appelle *valeur équivalente* ou *réduite* celle qui présente au passage du courant électrique une résistance égale à celle de l'unité ou de 100 mètres de fil de ligne.

Appelons r la résistance du fil de ligne, c sa conductibilité, l sa longueur et d son diamètre, on aura

$r = \frac{l}{cd^2}$, formule α.

Pour un autre fil, $r' = \frac{l'}{c'd'^2}$, formule β.

D'après le tableau qui précède, $c = 12,3$

$c' = 92.$

Supposons un diamètre des fils de 4 millim. pour le fer et de 2 millim. pour le cuivre, $d^2 = 16$

$d'^2 = 4$

$l = 1.$

En remplaçant c, c', d^2, d'^2 et l par leurs valeurs respectives dans les formules α et β,

$$r = \frac{1}{12,3 \times 16} = \frac{1}{196,8}$$

$$r' = \frac{l'}{92 \times 4} = \frac{l'}{368}$$

En égalant les deux seconds nombres, on a

$$\frac{l'}{368} = \frac{1}{196,8}$$

D'où $l' = 1,87.$

Par conséquent, $1^m,87$ de fil de cuivre de 2 millimètres de diamètre résistera de même que 1 mètre de fil de ligne ; en d'autres termes, 100 mètres de fil de ligne représentent 187 mètres de ce fil de cuivre.

Des amorces électriques.

Les amorces électriques sont de plusieurs sortes. On peut les diviser en trois classes par rapport à la nature d'électricité et des appareils qui servent à la produire :

1° Amorces s'enflammant au moyen de la bobine de Ruhmkorff ou d'une étincelle provenant de batteries électriques ;

2° Amorces ou *fusées* électro-magnétiques ;

3° Amorces à fil de platine.

Premier groupe.

Dans le premier groupe nous signalerons les amorces de Gaiffe, Beardslea et Mac Evoy, et de Stateham.

L'*amorce Gaiffe* est formée d'un fil de cuivre recouvert de gutta-percha surmonté d'une capsule de fulminate de mercure. Un fil de zinc en hélice contourne le fil de gutta. Une bande d'étain met en contact le cuivre de l'amorce et le fil de zinc. On entoure cet appareil de poudre fine. L'étincelle produite par un courant d'induction traverse le fond de la capsule, passe par le fulminate et détermine son inflammation.

Amorce Beardslea et Mac Evoy. — Elle est formée d'un tube en bois fermé à une extrémité ; deux fils de cuivre distants de quelques millimètres et placés parallèlement, sont fixés à la base du tube. Entre les deux extrémités de cuivre on trace un trait avec de la plombagine. Sous l'influence d'un courant électrique ou des étincelles fournies par la bobine, le

trait s'échauffe et enflamme la poudre qui le recouvre.

Amorce de Stateham. — Dans un fragment de tube en caoutchouc vulcanisé qui a renfermé du cuivre assez longtemps pour que les parois soient recouvertes de sulfure de cuivre, on place deux bouts de fil conducteur, fixés aux parois en face l'un de l'autre. On remplit le vide au moyen du fulminate de mercure additionné de pyroxyle.

Sous l'influence d'un fort courant d'induction, le sulfure de cuivre s'échauffe, fond et met le feu au mélange explosif. Dans la construction de ces amorces il est nécessaire de s'assurer que les parois du tube en caoutchouc sont recouverts d'une couche suffisante de sulfure.

Deuxième groupe.

Amorces électro-magnétiques.

Amorces d'Abel. — La poudre qui sert à leur préparation est formée d'un mélange de :

Protosulfure de cuivre. . .	64 (1).
Protophosphure de cuivre. .	22 (2).
Chlorate de potasse	14

(1) Le protosulfure de cuivre s'obtient en chauffant dans un creuset 1 partie de soufre et 2 de cuivre divisé. On observe qu'au moment où les deux corps se combinent, il y a dégagement de calorique et de lumière ; presque toujours la masse contient un excès de cuivre : mais en la pulvérisant et en la chauffant de de nouveau au rouge avec la moitié de son poids de soufre, le cuivre se trouve complétement sulfuré. (Thénard.)

(2) Le protophosphure de cuivre s'obtient en faisant passer de l'hydrogène phosphoré dans un tube de verre chauffé modérément et renfermant du protosulfure ou du protochlorure de cuivre.

On broie séparément les matières, on les additionne l'alcool et on les mélange intimement. La dessiccaion s'opère à l'air libre. Ce composé s'enflamme sous 'influence du frottement et du choc. L'amorce se ompose de deux fils de cuivre distants d'un demiaillimètre et fixés dans un petit cylindre en gutta-ercha qu'ils dépassent de 1 millimètre environ. On nroule autour du cylindre une feuille d'étain en orme de tube qu'on remplit de la poudre d'Abel, et n referme l'extrémité supérieure en repliant le méal sur lui-même. Le tout est ensuite plongé dans un ernis siccatif, qui augmente la solidité, et protége a poudre contre l'action de l'humidité.

Une nouvelle disposition, préférable pour l'emploi es amorces à dynamite, consiste à recouvrir d'un 'agment de baudruche l'extrémité du tube qui renerme la poudre. Dans ces conditions, en effet, la oudre ne rencontrant en ce point qu'une faible résistance, projette un jet de flamme au lieu de provoquer une petite explosion qui parfois déchire latéralement la feuille d'étain sans agir directement sur le ulminate de mercure.

Il suffit d'une faible étincelle électrique pour provoquer l'inflammation de ce composé fulminant.

Avec une pile d'une certaine puissance, on obtient la déviation du galvanomètre à travers les amorces

Il se forme de l'hydrogène sulfuré ou de l'acide chlorhydrique, suivant qu'on emploie le sulfure ou le chlorure de cuivre. (Thénard.)

On peut encore préparer plus simplement le protophosphure en faisant passer des vapeurs de phosphore sur la tournure de cuivre chauffée au rouge.

d'Abel. Mais on doit éviter cet essai qui peut faire subir à la poudre un commencement de décomposition et diminuer sa sensibilité.

Amorce Ebner. — On ploie en forme d'U renversé un fil de cuivre de trois quarts à 1 millimètre de diamètre et on l'introduit dans un cylindre en papier qu'on remplit avec un mélange, par parties égales, de soufre fondu et de verre pilé, en laissant à découvert la partie recourbée du fil. Cette pâte qui durcit par le refroidissement ne conduit pas l'électricité et maintient l'écartement des deux branches qu'on sépare au moyen d'un trait de scie au sommet de l'U, de telle sorte que l'écartement soit d'un cinquième de millimètre. On entoure le tout d'un petit cylindre de gutta-percha dans lequel on tasse une poudre fulminante légèrement conductrice. La quantité de matière interposée entre les sections du fil doit être constante. On s'en assure au moyen de piles dont on maintient l'intensité au moyen de régulateurs à lames de platine ou autre, et à l'aide du galvanomètre. On bouche ensuite le tube de gutta et dans ces conditions l'amorce est prête à fonctionner.

La composition de la poudre fulminante est la suivante :

Sulfure d'antimoine	44
Chlorate de potasse. . . .	44
Plombagine.	12
	100

Amorce russe. — Elle se compose de deux petits cylindres de charbon taillés en biseau distants d'un demi-millimètre; les biseaux sont disposés de ma-

nière que les arêtes rectilignes se croisent à angle droit.

On maintient ces charbons au moyen de bandes de cuivre et de vis de pression qui permettent de régler leur écartement. Cet appareil est enfermé dans un manchon non conducteur qu'on remplit de poudre. La sensibilité de l'amorce peut être accrue en employant des charbons légers ou en recouvrant leur surface d'un enduit de sulfure d'antimoine.

Troisième groupe.

Amorce à fil de platine. — Lorsqu'un courant électrique traversant un circuit métallique rencontre sur son passage une partie rétrécie, il s'y accumule et produit une chaleur capable de faire rougir les fils et d'amener leur fusion.

L'intensité de la chaleur développée est en raison inverse du diamètre du fil. On emploie de préférence les fils en platine à cause de leur inaltérabilité. Leur diamètre varie entre un dixième et un vingtième de millimètre.

Les amorces de ce genre doivent satisfaire à deux conditions :

1° Conductibilité suffisante pour l'essai au galvanomètre en présence d'un courant faible.

2° Facilité d'inflammation au moyen d'un petit nombre d'éléments.

Nous ne nous occuperons pas ici des diverses modifications subies par l'amorce à fil de platine, qui a été l'objet d'un grand nombre d'études.

Dans la disposition adoptée aujourd'hui, le fil enroulé en hélice a une longueur de 1 centimètre. Les spires rapprochées permettent d'obtenir une tempéra-

ture plus élevée que les fils rectilignes, pour une même source électrique. Les grains de poudre se logent facilement entre les interstices laissés par les spires. On recouvre le fil de platine d'un enduit dont l'inflammation rapide provoque celle de la poudre. C'est au capitaine Guyot qu'on doit ce perfectionnement. Il employait une solution de collodion dans l'éther et l'alcool, avec addition de térébenthine ou d'huile de ricin, afin de rendre le collodion moins cassant après la dessiccation. Cet enduit doit être mince pour empêcher la déperdition d'électricité. Son épaisseur peut atteindre celle du fil de platine. Cette disposition présente plusieurs avantages : outre qu'elle augmente la solidité de l'appareil, elle empêche les grains de poudre de s'écarter du fil sous l'influence d'un courant électrique. Elle prévient de plus la sulfuration du cuivre en présence du soufre de la poudre, action qui se manifeste au bout d'un certain temps et qui est due au courant produit par la soudure qui réunit le platine aux fils conducteurs. Ce fait a souvent pour résultat la destruction de l'amorce. On doit donc protéger spécialement la soudure, au moyen d'une couche épaisse de collodion.

Disposition de l'amorce. — On fixe les deux fils conducteurs le long d'un petit cylindre en bois fermé à la partie inférieure. Les deux fils sont réunis au moyen de la spirale en platine au-dessous de laquelle se trouve une cavité. On entoure le cylindre d'un manchon en papier qu'on remplit de pulvérin et qu'on ferme à la partie supérieure.

Dans une disposition adoptée par M. Bréguet, les fils sont fixés sur une rondelle en bois MN qui est vis-

sée sur le manchon CD. Un bouchon de liége *c* sert de fermeture (fig. 1).

L'expérience a démontré que le nombre des spires de platine devait être de six à huit, espacées d'un tiers à un quart de millimètre. Le diamètre étant de deux tiers à 1 millimètre.

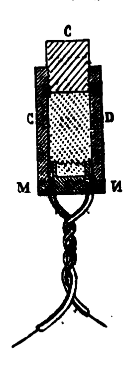


Fig. 1. Amorce à fil de platine.

Avant de souder les fils de platine on doit vérifier que les conducteurs n'ont aucune communication entre eux. On assure l'inflammation en interposant un fragment de pyroxyle entre la poudre et le fil de platine enduit. Dans la dernière disposition adoptée par la marine, le fil de platine est enfermé dans un étui en bois dont on assujettit la partie supérieure à l'aide d'une bande de papier. La cavité intérieure est remplie de pulvérin et de poudre.

Disposition des amorces électriques.

Les amorces d'Abel et d'Ebner ne peuvent servir qu'à l'inflammation directe de la poudre ordinaire ou autre. Pour leur application à la dynamite, il est nécessaire de leur adjoindre l'amorce ordinaire au fulminate de mercure.

Les dispositions que nous employons sont les suivantes :

Amorces pour appareil d'induction. — On réunit les extrémités des fils de cuivre des amorces avec un morceau de fil conducteur et on assure la solidité au moyen d'une goutte de soudure douce. Il est bon

de recouvrir le joint avec de la gutta-percha. On introduit l'amorce dans le tube en cuivre qui contient le fulminate : on peut ensuite pincer l'extrémité supérieure du tube, mais il est préférable de fixer l'amorce au moyen de poix, de glu marine ou de gutta. On réunit par la torsion les deux fils conducteurs en laissant à leur extrémité environ 1 à 2 centimètres de fil dénudé. C'est sur ces parties qu'on viendra greffer les fils qui devront réunir l'amorce à l'appareil d'induction. Cette opération réclame quelques soins, mais s'exécute facilement.

Amorces à fil de platine. — Les amorces à fil de platine précédemment décrites peuvent servir à l'emploi de la dynamite, à la condition de remplac[illegible] poudre par une composition fusante qui puisse p[illegible] voquer l'inflammation d'une capsule de fulmina[illegible] qu'on fixe dans le bouchon *c*.

La poudre aurait pour effet de briser le manchon en bois ou papier, avant d'avoir mis le feu au fulminate.

Poussier de poudre.	16
Charbon fin tamisé	8
Soufre pulvérisé tamisé	4

Autre disposition. — On réunit par la torsion deu[illegible] fils conducteurs et on dénude leurs extrémités sur [illegible] plus faible longueur possible. On donne à ces extr[illegible] mités un écartement moindre que le diamètre d[illegible] amorces au fulminate. On décape les fils de cuivr[illegible] avec une solution de chlorure de zinc (1), puis on

(1) On prépare cette solution en introduisant un fragment de zinc dans l'acide chlorhydrique du commerce et en l'y laissant [illegible]rner jusqu'à ce que le zinc ne fournisse plus d'hydrogène. [illegible] nom d'*esprit-de-sel décomposé*.

soude sur leurs extrémités le fil de platine contourné en hélice. On entoure avec soin le fil de platine d'un fragment de coton-poudre qui doit recouvrir les extrémités de cuivre, afin d'empêcher le contact avec les bords de l'amorce.

On peut remplacer le coton-poudre par un enduit au collodion. Pour être certain de l'isolement des fils et de l'amorce, il serait bon de recouvrir de gutta la partie dénudée des fils conducteurs. On introduit au contact du fulminate l'amorce ainsi préparée et on la fixe comme nous l'avons indiqué pour les amorces magnéto-électriques.

Dans la fabrication des amorces on n'emploie pas les fils de Wollaston, en raison de leur délicatesse et de leur prix élevé.

Des appareils d'induction et des piles.

On peut diviser les appareils d'inflammation en trois catégories :

1° Appareils d'induction ; 2° appareil électro-magnétique ; 3° piles proprement dites.

APPAREILS D'INDUCTION.

Bobine Ruhmkorff. — Les amorces qu'on emploie oncurremment avec cet appareil n'étant pas adop-ées, nous renverrons pour sa description aux traités e physique.

M. Gaiffe, auquel on doit un certain nombre d'ap-areils électriques ingénieux, a réuni sous un faible olume la bobine d'induction et les piles.

Il a bien voulu mettre à notre disposition un de ces instruments, dont nous avons pu vérifier l'action constante pendant plusieurs mois.

Appareil électrique de Gaiffe. — Cet appareil se

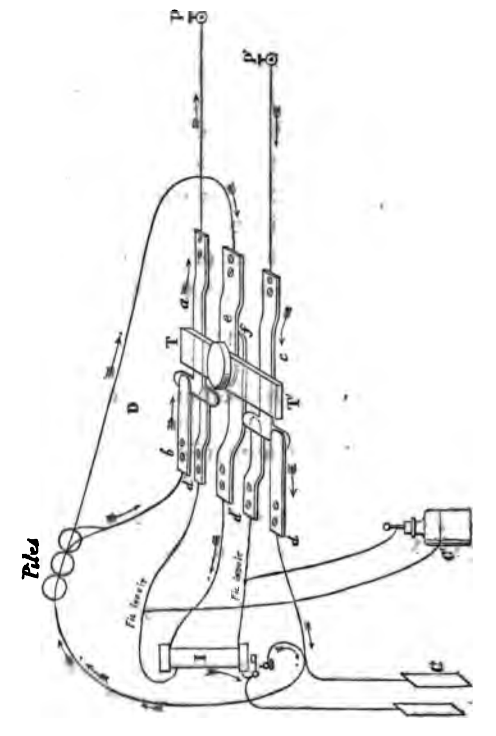


Fig. 2. Appareil de Gaiffe.

compose d'une pile formée de trois couples au chlorure d'argent, d'une bobine d'induction I, d'un distributeur D, d'un condensateur de Fizeau C, placé dans

le circuit inducteur, et d'un condensateur ordinaire interposé dans le circuit induit (fig. 2).

Dans la position de repos les ressorts *a* et *c* sont en contact avec les ressorts *b* et *d*. Tous les autres circuits sont ouverts ; le courant des piles arrive directement aux presses PP' en passant par les fils et ressorts marqués de flèches simples. On peut utiliser directement dans ce cas le courant de la pile. Lorsqu'on appuie sur la traverse TT', les ressorts *a* et *c* quittent *b* et *d*, mais communiquent avec *d'* et *d''* qui sont les extrémités du fil induit de la bobine, et le ressort *e* vient toucher *f*. Le courant de la pile ne pouvant plus prendre le premier chemin, qui est coupé, prend la route marquée de flèches pointées, passe par conséquent par la bobine d'induction et la met en marche. Le fil induit envoie alors par l'intermédiaire de *d'* et *a* et de *d''* et *c* son courant aux presses P et P'. Le condensateur de Fizeau C joue le même rôle que dans la bobine Ruhmkorff ; le conducteur C' diminue la longueur de l'étincelle, mais lui donne une puissance calorifique plus grande.

APPAREILS MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

La description qui suit est empruntée à la brochure publiée par M. Bréguet.

« *Exploseur magnéto-électrique*. — Cet instrument est représenté par la figure 3 ci-jointe : l'armature AA est toujours au contact des pôles de l'aimant NOS ; elle est portée par une pièce de laiton B à M qui pivote autour de l'axe horizontal *a* ; cette pièce présente une sorte de manche B*a* et un bouton ou tam-

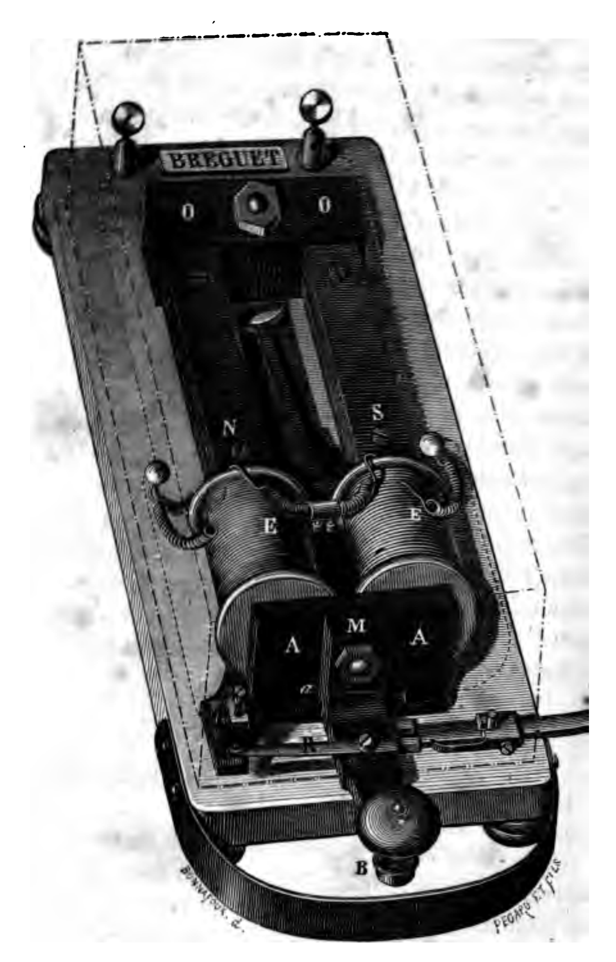


Fig. 3. Exploseur magnéto-électrique.

pon B sur lequel on frappe du poing pour produire l'arrachement de l'armature. Ainsi que nous l'avons dit, au moment de l'arrachement, un premier courant d'induction se produit, courant instantané comme le mouvement qui en est la cause, dans le fil enroulé sur les extrémités de l'aimant.

« Aussi longtemps qu'on maintient l'armature éloignée de l'aimant, l'appareil est inerte; mais dès qu'on cesse d'appuyer sur le bouton B, l'armature, poussée par un ressort qui agit sur le levier *a*B, attirée d'ailleurs par l'aimant, retourne vivement au contact des pôles NS; un second courant se produit, de sens contraire au premier, mais d'égale intensité, comme on le constate facilement avec un galvanomètre.

« Il importe de noter que l'intensité des courants produits est plus grande quand la course de l'armature est plus étendue (du moins jusqu'à une certaine limite); c'est ce que le galvanomètre indique encore. On peut cependant à volonté faire paraître plus intense l'un ou l'autre des deux courants, en faisant mouvoir l'armature plus rapidement dans un sens ou dans l'autre; par conséquent, on doit donner le mouvement le plus rapide possible à cette pièce pour obtenir de l'appareil tout ce qu'il peut donner.

« Pour montrer la liaison de cette expérience avec la première de Faraday, il nous reste à expliquer la production des courants dans l'exploseur.

« Quand l'armature est au contact des surfaces polaires de l'aimant, les pôles de l'aimant sont assez éloignés de l'armature; quand l'armature est écartée, les pôles se rapprochent des extrémités de l'aimant; c'est ce qu'on peut constater en présentant sur le

côté de l'aimant une aiguille aimantée dont la direction change quand on déplace l'armature et dont la pointe indique, au moins d'une façon approchée, la position du pôle dans l'intérieur de l'aimant.

« Tout se passe donc comme si l'aimant était transporté parallèlement à lui-même dans l'intérieur des bobines, ce qui est précisément l'expérience originaire de Faraday.

« *Extra-courant.* — On a de tout temps observé qu'au moment de la rupture du circuit d'une pile, une étincelle saute entre les deux parties qu'on sépare; tandis que, avant la fermeture du circuit, si près qu'on rapproche les deux électrodes, on n'observe jamais que l'électricité franchisse l'intervalle qui les sépare.

« Ce phénomène est expliqué généralement en disant que l'étincelle à la rupture du circuit est due, non pas au courant même de la pile, mais au courant qu'il induit dans son circuit au moment de la rupture.

« Cette explication est rendue vraisemblable par le fait montré par M. Masson, que si on intercale dans le circuit de la pile un fil long et enroulé sur une bobine, chacune des spires agit par induction sur les autres, et l'étincelle de rupture devient plus brillante.

« On la rend plus forte encore en mettant un barreau de fer doux dans la bobine : ce fer doux, au moment de la rupture du courant, se désaimante et agit aussi par induction sur les spires de fil qui l'entourent. On appelle extra-courant le courant produit dans un circuit, au moment de sa rupture, par l'induction du courant qui le traversait.

« Ce courant est de même sens que le courant inducteur. On le démontre par les courants de pile,

« *Tension relative considérable de l'extra-courant.*
Ce qui distingue l'extra-courant, ce qui l'a fait
ercevoir longtemps avant qu'on lui donnât un
m, c'est qu'il donne des étincelles d'une certaine
ngueur, tandis que le courant de pile n'en donne
s. Cela revient à dire que la tension est beaucoup
us grande que celle du courant qui lui a donné
issance. On est donc conduit dans les applications
i demandent de la tension plutôt que de la quan-
é à employer l'extra-courant plutôt que le courant
-même.

« *Emploi de l'extra-courant dans l'exploseur ma-
éto-électrique.* — Nous avons montré que la pro-
ction du courant dans l'exploseur dure autant que
mouvement de l'armature. La figure montre un
sort R porté par le manche de l'armature et ap-
yant sur l'extrémité de la vis *v* portée par un pont.
ndant une partie du mouvement de l'armature,
ressort continue d'appuyer sur ladite vis, et ce
st que vers la fin de son mouvement que la sépa-
ion a lieu.

« Or les deux extrémités du fil des bobines abou-
ent l'une au ressort R, l'autre à la vis *v*; par
séquent, aussi longtemps que le contact de ces
ces dure, le circuit est fermé sur lui-même et
une manifestation du courant ne peut avoir lieu.

« Quand ce contact de court circuit est rompu, le
rant est enrayé sur la ligne, et non pas seulement
courant qui se produit pendant le mouvement qui
complit encore, mais l'extra-courant d'induction
s'est produit pendant la première partie du mou-
ment.

« *Mesure de l'extra-courant.* — Il suffit de placer les doigts sur les bornes terminales de l'instrument pour faire la comparaison du courant et de l'extra-courant; si on place un papier entre le ressort R et la vis *v*, on supprime l'extra-courant et on rend l'action de l'instrument à peine appréciable aux doigts mouillés; tandis que l'extra-courant donne une secousse assez vive même si les doigts sont secs.

« Par contre, la déviation obtenue au galvanomètre est moindre avec l'extra-courant qu'avec le courant, parce que l'action a trop peu de durée et que l'inertie de l'aiguille aimantée n'a pas le temps d'être vaincue. Mais la déviation étant toujours de même sens, on voit que le sens de l'extra-courant est le même que celui du courant magnéto-électrique.

« *Action sur les amorces.* — Tandis que l'appareil simple ne peut enflammer qu'une amorce Ebner, on réussit à en enflammer quatre ou cinq placées en chapelet dans le circuit quand on emploie l'extra-courant.

« *Dernière forme de l'exploseur.* — Nous avons trouvé avantage à placer les bobines de l'exploseur non pas sur les branches de l'aimant, mais sur des cylindres de fer doux vissés dans l'aimant. Nous avons constaté que dans cette disposition le mouvement du pôle dans les bobines est plus considérable.

« Cette disposition nous a permis d'ailleurs de supprimer la partie centrale des bobines; les joues (en bois) sont vissées sur le fer doux, et par suite le fil est enroulé sur le fer sans interposition d'une pièce qui augmente la distance entre le fer inducteur et les spires induites.

« Notons en passant qu'il est important que les
ines soient faites en bois et non pas en métal,
ce que les courants d'induction y prendraient
ssance au détriment de l'effet utile de l'instrument.

« On remarque enfin un verrou X qui peut se
sser sous le manche de l'armature. Cette addition
us a été demandée par les officiers du génie mili-
re anglais ; elle a pour objet d'éviter les accidents
i pourraient résulter d'un coup donné par inad-
rtance à l'appareil quand il est lié à des amorces
acées dans une masse de poudre ou dans des
nons.

« Tant que le verrou est poussé, rien n'est à
aindre : l'appareil ne peut agir que quand on a
ré le verrou.

« *Avantages de l'exploseur.* — L'appareil que nous
nons de décrire est très-portatif ; le modèle cou-
nt qui fait partir cinq amorces bien choisies, ne
se que 7 kilogrammes et demi.

« Il présente une poignée en cuir qui en rend le
ansport commode.

« L'exploseur est l'appareil électro-magnétique le
us simple qu'on puisse imaginer ; car il faut dans
ut appareil de ce genre un aimant, un fer doux et
i fil enroulé, et il faut que l'un de ces organes soit
obile. Dans notre appareil, la pièce mobile est la
us petite des trois. Il paraît peu susceptible de dé-
ngement, en raison de sa simplicité. L'addition
ur avoir l'extra-courant est, à la vérité, une légère
mplication, mais les organes qu'elle comporte sont
ès-solidement fixés et ne paraissent pas devoir se
placer. L'appareil, d'ailleurs, peut et doit être

toujours fermé ; il n'y a aucune raison pour enlever la boîte qui le recouvre. Cet instrument est enfin beaucoup meilleur marché que tous ceux qui ont été construits pour le même objet. Comme tous les appareils magnéto-électriques, il est toujours prêt à fonctionner et ne demande aucun entretien ; de plus, l'armature est en contact permanent avec l'aimant, et par suite, l'idée de l'affaiblissement avec le temps est écartée. Ce sont là des avantages qui le feront préférer dans bien des cas à la bobine d'induction quoiqu'elle donne des effets beaucoup plus considérables (à prix égal) ; l'embarras que donne l'emploi des piles de Bunsen ou de Grove est fort sérieux en dehors des cabinets de physique et inadmissible pour les applications du génie militaire, où il faut nécessairement des appareils portatifs, toujours prêts à agir instantanément.

« *Portée de l'appareil.* — L'exploseur a une résistance de 200 kilomètres, soit de 2000 ohms ou de 2 000 unités siémens ; on peut donc penser que ses effets seront peu affaiblis par l'addition d'un circuit assez long.

« Les amorces ont au minimum 8000 kilomètres de distance (80 000 ohms) ; si donc on en fait partir cinq à la fois, on voit que chacune d'elles peut faire explosion dans un circuit de 32000 kilomètres de fil de fer de 4 millimètres.

« Nous avons eu l'occasion, en 1868, de faire sauter des amorces de Paris à Rouen (ligne télégraphique de 120 kilomètres environ de fil de 4 millimètres ou n° 8 anglais, avec retour par terre).

« Au commencement de l'année 1867, M. R. Fra

chel en a fait sauter de Paris à Bordeaux, ıètres.

uve des amorces. — Avant d'employer les il est prudent de les vérifier. Cette épreuve les plaçant dans le circuit d'un courant ues éléments Daniell (la dimension de ces peut varier beaucoup sans inconvénient, e adoptée en France pour la télégraphie onvenable) et en appréciant ce courant au 'un galvanomètre. Celui que nous recom- a 1000 tours de fil et une seule aiguille e 80 millimètres de longueur; les indica- t lues sur un cadran parcouru par une ai- cuivre mise en croix avec l'aiguille aiman- guille est suspendue par un fil de cocon, et ns disposé au-dessus un plateau de cuivre lé par une vis, au moyen de laquelle on t on appuie l'aiguille contre la partie supé- cadre, ce qui a l'avantage de permettre le du galvanomètre sans danger de casser le eur. Les amorces n'ont pas toutes la même bilité ; celles qui en ont trop et celles qui en peu sont les moins bonnes ; il est difficile de règles absolues sur ce point ; mais il est emarquer que, si on veut faire partir plu- norces dans un même circuit, il faut les ntre deux limites afin que le circuit total une résistance exagérée qui ferait manquer ces les plus conductrices et ne permettrait r qu'aux plus résistantes.

a également avantage à employer dans un rcuit des amorces d'une résistance sensible-

ment égale. Il va sans dire qu'il est inutile de mesurer ces résistances en unités. Il suffit de comparer les résistances des différentes amorces entre elles par l'angle qu'elles donnent au galvanomètre.

« Il faut prendre quelques précautions quand on fait ces expériences, car il arrive parfois que le courant de la pile fait sauter les amorces ; ces expériences n'offrent d'ailleurs de danger que si l'on met les yeux juste au-dessus de l'amorce. »

DES PILES.

Les premiers essais furent faits avec la pile Bunsen, dont l'entretien est difficile et l'usure rapide. Münch lui substitua bientôt la pile de Wollaston. Plus tard Ruhmkorff construisit une pile qui fut employée dans les écoles du génie d'Arras. Elle était formée de plaques de zinc amalgamé, et de charbon plongeant dans une solution de bichromate de potasse aiguisée d'un dixième d'acide sulfurique.

La dernière disposition adoptée par la marine et le génie est la suivante :

Chaque couple se compose d'un cylindre en zinc de 2 centimètres de diamètre, à l'intérieur duquel se trouve un parallélipipède de même hauteur en charbon et d'une longueur de 9 centimètres sur 8 millimètres de côté. Un série de couples semblables sont fixés sur une planchette de caoutchouc durci. Celle-ci porte deux coulisses guidées par des montants en cuivre fixés au fond de la boite qui renferme la pile, et permettent de l'abaisser ou de la soulever à volonté. Au-dessous de chaque couple se

rouve en auget un verre de 10 centimètres de haut ur 3 centimètres de diamètre, entouré d'un cylindre le caoutchouc et maintenu dans des petites cases en bois. Une goupille mobile permet de fixer la planchette au-dessus des augets quand la pile ne fonctionne pas.

Au moment de l'immersion des éléments, il se développe un courant électrique d'une grande puissance, mais qui s'affaiblit rapidement. On doit donc, chaque fois qu'on s'en sert, soulever la planchette et mettre la pile au repos. Dans le cas contraire, le zinc s'attaque rapidement et l'activité de la pile diminue.

La solution de bichromate de potasse sulfurique peut servir à un grand nombre d'opérations sans s'altérer.

Il est utile de laver fréquemment les couples afin d'empêcher la formation, autour du zinc et du charbon, de gros cristaux d'alun de chrome, qui diminuent la surface d'action du liquide et font perdre à la pile une grande partie de sa puissance.

Ces piles renferment en général 3, 6, 12, 24 ou 48 éléments. Avec la dernière on peut enflammer de à 10 amorces à plusieurs centaines de kilomètres.

Puissance de la pile d'inflammation. — On peut essayer la puissance d'une pile d'inflammation, au moyen de l'appareil désigné sous le nom de *pont de Wheastone.*

La puissance d'une pile représente le nombre d'éléments nécessaires pour enflammer un nombre connu d'amorces à une distance déterminée et avec un fil d'un diamètre fixé à l'avance.

On peut remplacer le pont de Wheastone, dont l'emploi est minutieux, par une méthode plus pratique, mais qui fournit des résultats moins exacts.

On dispose en lignes parallèles un fil d'une longueur de 10 mètres et d'une section telle que le circuit corresponde en résistance à 1000 ou 10000 mètres de fil conducteur à sept brins.

Ce fil est divisé en centimètres afin de pouvoir agir sur une longueur déterminée.

Entre la pile et le point de contact, on place, suivant les distances à essayer, un nombre d'amorces identiques.

Au moyen de cette disposition on peut calculer:

1° Le nombre d'éléments nécessaires pour enflammer une amorce à une distance connue ;

2° Le nombre d'amorces qu'on peut enflammer avec un nombre déterminé de couples pour une même distance;

3° Le nombre d'éléments pouvant enflammer une ou plusieurs amorces pour une même longueur de fil.

Avec les éléments de Münch, au bichromate, disposés comme il est dit plus haut, on obtient les résultats suivants :

Inflammation d'une amorce avec fil réduit, longueur 15 centimètres, représentant 200 mètres de conducteur à sept brins.

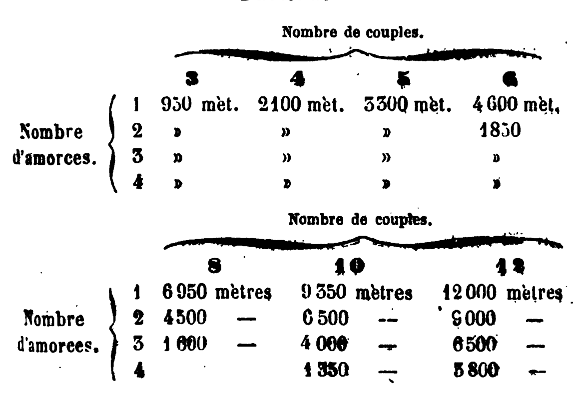
3	éléments	permettent l'inflammation	à 80 centimètres.
5	—	—	à 2 mètres.
7	—	—	à 3^m,50.

Par élément employé, on a donc une différence de 65 centimètres, par conséquent, chaque

ément augmentera de 850 à 900 mètres la distance laquelle pourra s'enflammer une amorce.

On a trouvé que la résistance de l'amorce à fil de latine représente une longueur de 85 centimètres e fil réduit ou 1060 à 1070 mètres de conducteur.

Tableau.



		Nombre de couples.			
		3	4	5	6
Nombre d'amorces.	1	950 mèt.	2100 mèt.	3300 mèt.	4 600 mèt.
	2	»	»	»	1850
	3	»	»	»	»
	4	»	»	»	»

		Nombre de couples.		
		8	10	12
Nombre d'amorces.	1	6 950 mètres	9 350 mètres	12 000 mètres
	2	4500 —	6 500 —	9 000 —
	3	1 600 —	4 000 —	6500 —
	4		1 350 —	5 800 —

Formule générale. — D'après ce tableau on déduit la formule suivante :

$$D \text{ (distance)} = 60n - 85m.$$

n représente le nombre de couples, m le nombre d'amorces et 1 mètre de fil réduit correspondant à 1250 mètres de fil conducteur : on a donc

$$D = 750n - 1069m.$$

Si donc on veut savoir la distance à laquelle une pile de 22 éléments au bichromate de potasse pourra mettre feu à 6 amorces, on aura

$$D = 750 \times 22 = 1059 \times 6.$$

Soit en nombres ronds, 10000 mètres.

Ainsi, 22 éléments au bichromate de potasse pour-

ront mettre feu à 6 amorces à une distance de 10000 mètres.

Retour par la terre. — Dans le cas où on ne peut disposer de fils de retour, on les remplace par des *plaques de terre.*

La résistance électrique de la terre a été déterminée ; elle est représentée par 15 à 1700 mètres de fils ordinaires.

On accroît la distance d'inflammation de la pile, en augmentant le nombre des plaques de terre ou leur dimension.

Les plaques de terre sont de grandes feuilles de cuivre mesurant 1 mètre à 1^m,50 sur 40 à 50 centimètres de largeur. On les place ordinairement à 25 ou 30 centimètres sous terre, et en les soudant aux fils conducteurs. Avec cette méthode, on ne peut obtenir, pour un même nombre d'éléments, la même intensité électrique qu'à l'aide du fil de retour.

Piles d'essai.— On désigne sous ce nom des piles à courant faible destinées à vérifier le bon état des fils et de l'amorce. Dans ce but, on peut employer la pile au sel ammoniac, la pile Duchemin, le couple Pulwermacher, etc. La pile Duchemin est un couple semblable à celui de la pile d'inflammation (zinc et charbon), on l'emploie avec l'eau de mer ou l'eau salée. Elle fournit un courant d'une grande intensité, aussi on ne doit en faire usage qu'avec de grandes précautions.

La pile la plus simple consiste en deux fils, zinc et cuivre, séparés l'un de l'autre par une torsade de coton et enroulés autour d'un cylindre en bois.

En la plongeant dans l'eau ordinaire ou légère-

ment salée, on obtient un courant d'une intensité suffisante pour produire la déviation du galvanomètre, sans crainte de provoquer l'échauffement du fil de platine, ou la décomposition partielle des matières inflammables qui l'entourent.

M. Gaiffe construit des piles d'essai au chlorure d'argent. La longue durée de leur action et leur constance les rendent d'un emploi commode.

Elles sont formées d'un tube en caoutchouc durci rempli d'eau dans laquelle plongent un fil d'argent recouvert de chlorure d'argent fondu, et une lame de zinc fixée à un bouchon en caoutchouc qui sert de fermeture à la pile.

Galvanomètre. — Cet appareil sert avec la pile d'épreuve pour s'assurer du passage du courant dans le circuit. Nous renverrons, pour sa description, aux traités de physique : rappelons néanmoins, en passant, qu'on doit mettre le galvanomètre au zéro, quand on emploie des piles d'épreuve à courant très-faible : sans cette précaution, on n'obtient souvent pas de déviation appréciable. On donne parfois à ces instruments la forme et la dimension d'une montre.

Ils doivent être doués d'une grande sensibilité.

Fils de retour. — Avec les amorces à induction, comme celles d'Abel et autres, on peut employer, comme *retour*, des fils de fer galvanisés, pareils à ceux en usage dans la télégraphie. Il n'en est pas de même avec les amorces à fil de platine dont l'avantage consiste à permettre, sans danger, de vérifier le passage du courant. En effet, ces fils, surtout au contact d'un sol humide, développent un courant

d'une intensité suffisante pour faire dévier l'aiguille du galvanomètre, sur les indications duquel on ne peut donc plus compter. Ce fait doit être attribué à ce que certaines portions du fil incomplétement recouvertes de zinc, s'oxydent en produisant un courant dont l'intensité s'accroît par la présence du métal étranger.

On fabrique d'ailleurs pour la marine des conducteurs doubles formés par la juxtaposition de deux fils de cuivre, séparés par une couche de gutta-percha de quelques millimètres d'épaisseur. Pour le cas de rupture d'un des fils, il suffirait d'employer des conducteurs de diamètre différent, afin de les distinguer dans les recherches faites à l'aide du galvanomètre.

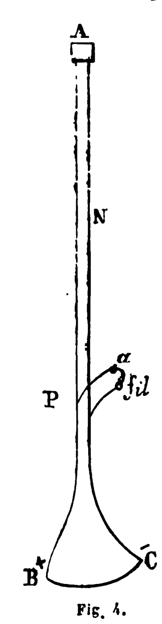
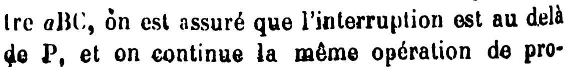


Fig. 4.

Recherche du point de rupture des fils conducteurs. — Dans les opérations de guerre on peut avoir à chercher le point de rupture des fils conducteurs disposés dans des tranchées plus ou moins profondes. Soit en A (fig. 4) la fougasse ou le fourneau de mine, et supposons un fil rompu en N. On réunit par un fil conducteur les extrémités B C, puis on pratique une ouverture dans la tranchée, soit en P, on coupe les deux fils et on réunit les extrémités à la pile d'essai et au galvanomètre *a*. Si le courant passe en-


tre *a*BC, on est assuré que l'interruption est au delà de P, et on continue la même opération de pro-

che en proche sur différents points des fils AB, AC.

On arrive ainsi au moyen d'un petit nombre de saignées à circonscrire dans une faible longueur la place de rupture, et par conséquent à abréger de beaucoup le travail de terrassement et de recherches.

Cette méthode fut employée avec succès pendant le siége de Paris pour relever les fils électriques reliant les torpilles à différents forts, et fréquemment rompus par les maraudeurs.

Disposition des fils électriques pour la réunion de plusieurs fougasses ou fourneaux de mine.

Si on met en communication les amorces électriques au moyen d'un conducteur unique, on conçoit que le mauvais état de l'une d'elles rendra nulle l'action du courant électrique sur les autres. Il est donc utile de relier les fils de chaque mine avec les fils généraux correspondant à l'appareil électrique.

Cette disposition peut être adoptée aux diverses amorces que nous avons décrites.

Néanmoins, pour les amorces à fil de platine, elle ne présente pas de garanties quant à l'essai du courant. Dans ce cas, en effet, quel que soit le nombre d'amorces hors d'usage, il suffira d'une seule en bon état, pour provoquer la déviation de l'aiguille aimantée. On peut parer à cet inconvénient en reliant de plus les amorces entre elles par un fil conducteur au moyen duquel on s'assurera du bon état de la totalité des amorces (1).

(1) Nous renvoyons au *Mémorial du génie*, n° 17, pour la disposition des fils suivant les cas particuliers.

Dispositions des fils électriques pour fougasses, torpilles, etc. — Il est souvent nécessaire de réunir en un seul point les fils de communication de plusieurs fourneaux de mine et de les relier à une seule

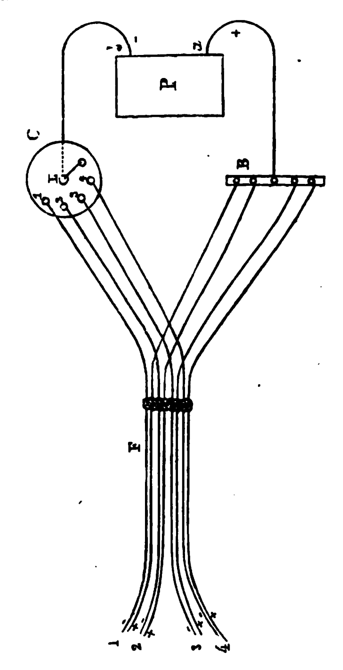


Fig. 5.

pile, permettant à l'officier chargé de ce service de produire en peu d'instants l'explosion, sur tel ou tel point déterminé.

Les fils correspondant au même pôle de la pile sont fixés à une série de bornes en cuivre B pareilles

à celles dont on fait usage dans des appareils électriques.

Ces bornes, toutes en communication entre elles, sont reliées par un seul fil au pôle *a* de la pile P (fig. 5). Les fils correspondant à l'autre pôle *b* sont fixés à une seconde série de bornes isolées et placées sur le manipulateur C muni d'un levier mobile en communication constante avec la pile P. Pour mettre feu à la fougasse numéro 1, par exemple, il suffira de soulever le levier mobile et de le faire retomber sur la borne correspondante.

Dans cette disposition, les fils conducteurs doivent être recouverts d'une couche épaisse de gutta-percha pouvant les mettre à l'abri des causes de détérioration.

Les tranchées destinées à les recevoir auront une profondeur de 20 à 30 centimètres, afin que dans le cas de rupture on puisse facilement relever les fils.

A l'entrée dans les forts, il est utile de les loger dans les angles des murs du côté opposé au front d'attaque et de les protéger contre les projectiles au moyen de pièces de fer ou de madriers épais.

Appareil à réveille-matin.

Dans des circonstances telles que l'occupation passagère des villages, maisons, etc., où le manque de temps ne permet pas l'installation de fils électriques, on peut employer une disposition consistant en un réveille-matin ordinaire, faisant mouvoir, au moyen de levier, un chien de fusil retenu par un ressort, et dont la détente produirait l'explosion d'une amorce à dynamite.

Par cette méthode, on pourrait déterminer à
vance le moment de l'explosion.

Appareil à air comprimé.

Nous avons eu entre les mains, pendant la
nière guerre, un instrument ingénieux qui pou
dans certains cas remplacer les appareils électriq
Il se composait d'une poire en caoutchouc fai
l'office d'un soufflet, et correspondant. à l'aide
long tube en plomb d'un petit diamètre, à un
en caoutchouc de forme ovoïde. Celui-ci, en
gonflant sous l'action du soufflet, soulevait un le
coudé qui laissait échapper un ressort muni d
aiguille maintenue par une glissière, et dont le
faisait détoner une amorce (fulminate de mercur
poudre au sulfure de cuivre). Cet instrument ne
met pas de vérifier le bon état des organes q
composent. De plus, le temps qu'il met à fonct
ner est proportionnel à la longueur du tube. Ce
ci d'ailleurs est d'un transport difficile à caus
l'épaisseur qu'on doit donner au métal pour prév
l'écrasement.

APPLICATIONS DE LA DYNAMITE

A L'INDUSTRIE.

Les principales applications de la dynamite à l'industrie peuvent être divisées en plusieurs groupes :

1° Percement des galeries et tunnels. Abatage des roches ou minerais dans les mines et les carrières. Fonçage des puits, travaux de tranchées pour chemins de fer, travaux sous-marins, etc.

2° Brisement des glaces et exploitation de terrains gelés.

3° Brisement des blocs métalliques, loups, chabottes, laminoirs, etc. Enlèvement de ponts métalliques.

4° Abatage de souches, pêche.

Sautage des roches. — Forage des trous. Chargement.

Un certain nombre des travaux dans lesquels on emploie ordinairement la poudre peuvent s'effectuer à l'aide de la dynamite, qui, plus facile à manier, et douée d'une puissance explosive beaucoup plus grande, présente fréquemment de sérieux avantages.

Pour le sautage des roches au moyen de la dynamite, on commence, comme pour la poudre, par forer des trous de mine d'un diamètre et d'une profondeur variables suivant les résistances à vaincre. Dans le percement des galeries avec la poudre, les trous de mine doivent souvent être inclinés par rapport au

plan du front d'attaque, afin de présenter une ligne de moindre résistance, suivant laquelle le brisement se produira : autrement, la résistance étant égale de tous côtés, l'effet de l'explosion pourrait être nul, et provoquer simplement le débourrage. Avec la dynamite, au contraire, ce fait n'est pas à redouter en raison de l'instantanéité de l'explosion, et les trous de mine peuvent être forés perpendiculairement à la surface de la roche.

Souvent, dans les rochers calcaires, pour augmenter la capacité d'un trou de mine, on y verse de l'acide chlorhydrique, qui, en attaquant le carbonate de chaux, forme à la partie inférieure du trou une espèce de chambre, qui permet d'employer une plus forte quantité de poudre. Ce procédé, qui entraîne une perte de temps considérable, est inutile avec la dynamite, les effets de cette dernière pouvant être estimés à huit ou dix fois supérieurs à ceux de la poudre.

Pour charger les trous de mine, on introduit une cartouche, et on la tasse au moyen du bourroir en bois, de telle sorte qu'elle ne laisse pas de vide autour d'elle. Suivant la profondeur et le diamètre de la mine, calculés d'après la résistance et l'épaisseur des rochers, il faudra employer une ou plusieurs cartouches, en les bourrant successivement. On coupe un fragment de mèche assez long pour que les ouvriers aient le temps de s'éloigner. A l'extrémité, on adapte l'amorce, qu'on fixe à l'aide d'une pince, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment. On introduit l'amorce dans une petite cartouche de dynamite, en serrant le papier de la cartouche au

moyen d'une ficelle, afin d'assujettir la mèche. On place ensuite avec précaution la cartouche dans le trou, sans employer le bourroir qui pourrait déplacer ou briser l'amorce. Le bourrage se fait avec du sable ou de la terre, en évitant de faire subir à l'amorce des chocs brusques. Le sable humide forme un bourrage plus complet que le sable sec. Avec la dynamite puissante, on peut sans inconvénient employer l'eau comme bourrage, seulement il est utile dans ce cas que la cartouche porte-amorce soit étanche : autrement il faudrait avoir soin de recouvrir le joint de l'amorce et de la mèche avec de la résine, du suif, ou d'autres matières empêchant l'eau de pénétrer jusqu'au fulminate.

Nous empruntons ce qui suit, à l'ouvrage de M. Barbe, qui employait déjà la dynamite à l'exploitation des mines, alors que l'usage de ce composé était encore inconnu en France. Nous ne saurions trop recommander la lecture de cette brochure qui renferme des données nombreuses sur les rendements qu'on peut obtenir, dans l'exploitation des roches et minerais, au moyen de la dynamite.

Percement des galeries.

« Quand on se sert de la poudre ordinaire, le trou pratiqué dans le front d'attaque de la galerie doit toujours être fortement oblique sur ce front. On l'incline de façon que l'angle *abc* de l'axe du trou, avec ce plan soit égal ou inférieur à 45 degrés (fig. 6 et 7). La valeur maxima de l'avancement est donnée par la ligne de moindre résistance. Elle est ainsi au plus égale à $ac = 0.7ab$.

« La profondeur du trou est donc, dans le cas le plus favorable, les dix-septièmes de l'avancement.

« De plus, en raison de la faible puissance de la poudre et du ferme appui que prend la roche attaquée contre les parties intactes, surtout dans les galeries à petites sections, on ne peut donner au trou de mine que des *profondeurs relativement faibles*.

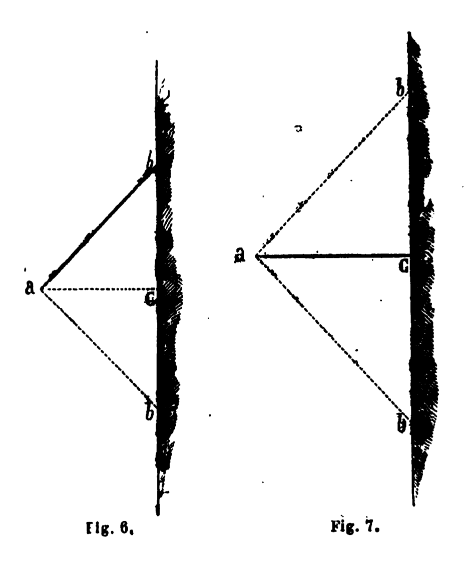


Fig. 6. Fig. 7.

« Avec la dynamite, il n'en est plus de même. On peut, excepté dans une roche très-tenace et sans fissures, placer le premier trou directement et suivant la ligne de moindre résistance; et en proportionnant la profondeur du trou de mine et la charge au profil de la galerie et à la résistance du terrain, on obtient le même effet que donnerait, avec la poudre, un

trou de 45 degrés. On arrachera un cône ayant pour sommet le fond du trou et pour base un cercle d'un diamètre égal ou double de l'avancement. Dans ce cas, le travail de forage est égal aux sept-dixièmes seulement de celui que nécessiterait la poudre ordinaire.

« En outre, la puissance de la dynamite permet de faire les forages plus profonds, et on peut dégager par le tirage à la dynamite, du premier coup de mine posé normalement au front d'attaque, une surface bien plus étendue qu'avec la poudre. En continuant à donner aux trous de plus grandes profondeurs, on arrive à réaliser, avec la même longueur totale de forage, des résultats qui dépassent de beaucoup ceux que pourrait fournir, dans les mêmes conditions, le travail à la poudre commune.

« Ce que nous venons d'exposer est conforme à ce fait : que la masse de roche abattue est proportionnelle au cube de la profondeur de ce trou.

« Du calcul que j'ai établi en prenant pour bases les formules du traité de construction des tunnels de Rziha, les expériences font ressortir l'économie de travail de forage due à l'emploi de la dynamite dans les galeries à faible section (de 20 pieds carrés), à plus de 30 pour 100, dans les galeries à forte section (tunnels, galeries principales), à 45 ou 50 pour 100.

« Comme l'économie d'argent et de temps réalisable sur le travail de forage des trous de mine est le plus souvent proportionnelle à la diminution du forage même (1), il est clair que l'application de la

(1) Dans certains cas très-défavorables, on pourra rencontrer une exception à cette règle.

dynamite, malgré son prix élevé, doit amener des avantages très-importants.

« *Résultats d'essais faits à la mine d'Altenberg le 30 et 31 décembre* 1868. — Dans une carrière souterraine (calcaire dévonien), on pratique trois trous de mine : deux dans le front d'attaque, le troisième transversalement à la stratification en suivant la direction de la roche (fig. 8).

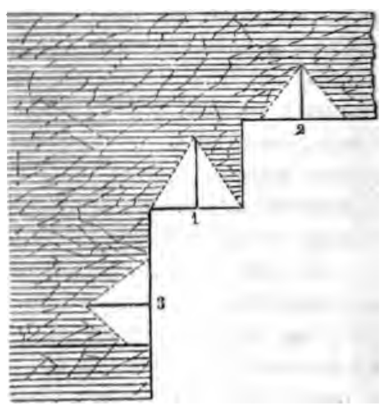


Fig. 8.

« *Trou n°* 1. — 30 pouces de profondeur, placé au milieu du front et légèrement incliné vers le bas; chargé sur 11 pouces de longueur de dynamite fortement pressée contre les parois du trou avec un bourroir en bois : léger bourrage avec les débris du forage et de l'argile.

« L'effet fut bon sous tous les rapports. Les parties ébranlées ou arrachées affectaient la forme d'un cône sur toute la longueur du trou foré.

« L'entonnoir résultant s'étendait à son embouchure depuis le plafond jusqu'au toit, et aussi jusqu'à la paroi latérale; il présentait des dimensions excédant 4 à 6 pieds. Deux petits coups de mine suffirent à abattre les parties restées adhérentes au toit et au plafond, en dehors de l'entonnoir, et pour mettre l'avancement au large.

« *Trou n°* 2. — Comme le premier, placé droit à travers bancs; profondeur 30 pouces.

« Chargement et bourrage comme ci-dessus.

« Effet : pas aussi complet que celui du premier coup. Il reste un forage de 12 pouces de long. On le recharge de dynamite sur 5 pouces, et on le fait sauter après l'avoir bourré avec de l'argile. L'entonnoir est alors complétement excavé. La roche est enlevée jusqu'au fond du trou de mine.

« *Trou n°* 3. — 26 pouces de profondeur dans le sens de la direction des couches. Chargé de dynamite sur 10 pouces de long et bourré avec des débris de forage et de l'argile. Mis le feu.

« Effet parfait.

« L'entonnoir était excavé jusqu'au fond du trou, et la roche arrachée de la base du plafond au toit et jusqu'à la paroi latérale sur environ 4 pieds en largeur et 6 pieds en hauteur. Sur le côté gauche se trouvait un délit très-lisse; il empêcha l'arrachement de la roche au delà de son plan.

« Les trois trous de mine avaient cinq quarts de pouce à l'entrée et 1 pouce au fond.

« *Trou n°* 4. — Un quatrième trou de mine fut foré dans une dolomite quartzeuse très-dure et très-fen-

dillée. Il était placé au milieu du front, un peu incliné vers le bas; profondeur 18 pouces.

« On le chargea de dynamite sur 8 pouces de long. On bourra à l'argile et on mit le feu.

« L'effet fut surprenant. La roche, solide et non stratifiée, fut complétement arrachée ou fendue du toit au plafond et jusqu'aux parois latérales. On put achever l'abatage au pic.

Fonçage des puits.

« *Creusement de la fosse Richard à la mine. — La joie du chasseur de Duttweiler.* — Le puits doit avoir,

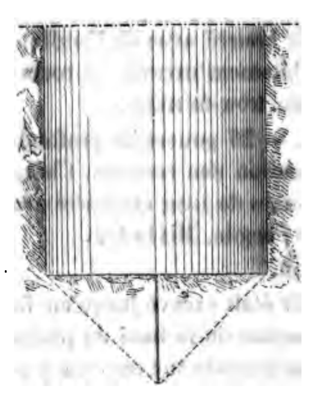


Fig. 9.

après achèvement, une largeur de 11 pieds 9 pouces. Dans la période d'emploi de la poudre, le puits était maçonné et nécessitait un diamètre de 14 pieds pour le fonçage (fig. 9).

« Quand on eut recours à la dynamite, le murail-

ement fut remplacé par un revêtement en fer et en bois, réduisant le diamètre du fonçage à 11 pieds 10 pouces. Il y eut alors par pied courant d'avancement 42 pieds cubes de roche en moins à abattre et à extraire.

« Voici comment se fait actuellement le travail de fonçage à la dynamite: dans l'axe de front on perce un trou de mine auquel on donne, suivant la dureté de la roche, une profondeur de 50 à 70 pouces et un diamètre d'un demi à 2 pouces. On le charge de deux tiers de livre à 1 livre de dynamite.

« L'effet du coup de mine est extraordinaire. La roche, à partir du trou central, se fissure suivant des lignes rayonnantes et se disloque complétement, de sorte qu'on peut facilement l'extraire au coin. Dans le voisinage de la charge, le terrain est d'ordinaire complétement fracassé. Le déblai enlevé, on perce dans les parements de l'entonnoir des trous plus petits; on les charge de 13 à 17 grammes de dynamite. On met le feu, et on règle ainsi le fond de l'excavation pour recommencer en suivant la même marche.

« *Carrières de calcaire de Volcksen (en Hanovre).* — Calcaire compacte. Trois trous de mine chargés de 10 livres d'huile explosive, détachant environ 1200000 livres de roche, ce qui donne 120000 livres par livre de nitroglycérine.

Sautage de mine dans l'argile.

« Pour terminer, nous rapporterons encore une expérience très-intéressante dans une argile nommée *bolus*, très-grasse et très-ferme. La poudre dans une

pareille masse se perd complétement et ne produit aucun effet. Le travail se faisait entièrement à la pioche. On perça un trou de 12 pieds de long et de 2 pouces de diamètre à 12 pieds de la face libre et à 18 pieds du haut et du bas du terrain. La charge fut d'un demi-litre de nitroglycérine ou 3 livres un cinquième, et l'on y introduisit des petites pierres, de façon que l'huile explosive occupât environ 3 pieds de longueur du trou. Procédé parfaitement rationnel.

« L'effet fut grandiose. *Une montagne entière fut soulevée et déchirée dans tous les sens.*

« En avant, le bolus était tout déchiré et disloqué, crevassé de chaque côté jusqu'à 12 pieds, et en profondeur jusqu'à 6 ou 8 pieds. La masse de terrain soulevée et brisée s'élevait à environ 6 000 pieds cubes.

« La division de pareilles glaises à la nitroglycérine paraît coûter deux fois moins que le travail à la pioche. Il est donc évident *que, par l'emploi de la nitroglycérine dans les carrières, on obtiendra un effet utile au moins cinq à six fois plus grand que celui d'un poids égal de poudre ordinaire.*

« L'économie réalisée provient surtout de l'importante réduction apportée dans le travail du forage des trous de mine. *Avec des volumes égaux, des deux substances explosives dans les trous de mine, on obtient avec la dynamite environ huit fois l'effet produit par la poudre.* Dans un très-grand nombre de cas où la poudre perd presque complétement son efficacité, la dynamite peut encore être utilisée ; ainsi, par exemple, dans un terrain très-crevassé, mais dont les parties isolées sont solides et compactes. Tel était le

cas qu'eut à traiter le général Scholl, lorsque pour la démolition d'un mur de courtine, vieux de trois siècles, près du bastion de Campo-Morzo, à Vérone, il dut renoncer absolument au tirage à la poudre. La dynamite aurait pu servir avantageusement.

« Dans tous les cas, l'économie sur les frais d'extraction peut toujours être estimée au delà de 20 à 30 pour 100 (1). En outre, la pierre n'est pas, comme avec la poudre, lancée à une grande distance. Elle est seulement disloquée. »

Essais sur une mine de castine à ciel ouvert à Maubeuge (Nord). — La roche présentait une grande dureté, et on donnait aux mines une inclinaison de 45 degrés sur le front d'attaque.

Nous fîmes creuser perpendiculairement à la surface un trou *à l'eau* d'une profondeur de 60 centimètres sur 3 centimètres de diamètre. Par erreur, on alla jusqu'à $1^{m},10$.

Charge de dynamite à 70 pour 100, de nitroglycérine 350 grammes. Bourrage au sable. La détonation fut sourde, sans projections. Soulèvement de blocs fendillés et gercement profond de la masse. M. F. Hamoir, ingénieur civil, qui a assisté à nos essais, nous a communiqué les renseignements suivants que nous ne pûmes recueillir nous même, faute du temps nécessaire.

« Non-seulement tout le banc fut soulevé dans le sens de la stratification, mais les couches qui le précédaient et le suivaient furent fissurées dans le sens

(1) Depuis peu on a fait dans la carrière de granite de Schærding (Autriche supérieure) des essais de dynamite qui ont donné d'excellents résultats.

perpendiculaire à l'inclinaison naturelle, et cela sur une superficie de 6 à 7 mètres carrés.

« Le fendillement est tel dans cette partie, qu'il devient impossible d'extraire un morceau de grosseur suffisante pour faire une pierre de taille.

« Au contraire, l'extraction de la castine comme pierre à chaux est singulièrement simplifiée. »

Cet essai avait pour but d'enseigner aux ouvriers l'emploi de la dynamite et ses avantages. Un trou de 60 centimètres de profondeur aurait été suffisant.

Le prix du forage devient élevé dans les rocs durs, quand on dépasse la profondeur de 60 à 70 centimètres. Il y a donc avantage à répéter les coups de mine en employant chaque fois une faible charge de dynamite, dans le cas où l'exploitation doit fournir des pierres destinées à la construction. Lorsqu'au contraire il s'agit d'extraire des minerais, de percer un tunnel, de pratiquer une tranchée, ou en général d'un travail pour lequel la dimension des blocs détachés est sans importance, il est utile d'augmenter la charge de dynamite, qui peut alors occuper environ le tiers de la profondeur du trou.

Plusieurs auteurs ont dit que pour l'exploitation des minerais on pouvait diviser de gros blocs en plaçant sur une de leurs faces une faible quantité de dynamite renfermée dans des cartouches que l'on recouvre de sable. Ce procédé n'est pas économique en général. D'après les renseignements que nous a fournis M. Barbe, les rapports entre les dimensions des blocs de pierre et les quantités de dynamite que l'on doit employer sont les suivants :

Moellons de 25 centimètres de côté. . . .	1	cartouche.	50 gr.
— de 30 centimètres — . . .	2	—	100 —
— de 35 à 40 centimètres de côté .	3	—	150 —

En disposant sur un moellon ordinaire deux cartouches placées bout à bout, on obtient en général trois éclats dont l'un est sous forme de pyramide à quatre faces. La partie sur laquelle reposent les cartouches est broyée sur une épaisseur de plusieurs centimètres. Si au contraire on dispose la dynamite sous forme de tas au milieu du moellon, il se brise en fragments plus ou moins gros, sans régularité.

L'explosion produit encore plus d'effet quand on recouvre les cartouches avec du sable ou des débris de pierre.

Dans le creusement des tranchées on rencontre parfois des bancs de roc ou de granit d'une faible épaisseur et d'une dureté telle, qu'il deviendrait dispendieux d'y pratiquer des trous de mine. Ce fait se présente fréquemment dans la Vendée. On peut alors, après avoir mis ces couches à nu, pratiquer des cavités sous le banc et les charger de dynamite. L'explosion produira des fissures dont l'étendue variera avec l'épaisseur et la dureté de l'obstacle, ainsi qu'avec la quantité de dynamite employée.

Nous ne conseillons cependant de suivre cette méthode que dans des cas exceptionnels, car elle nécessite une dépense considérable de dynamite.

Extraction de la houille.

On a tenté à plusieurs reprises d'employer la dynamite pour l'extraction de la houille ; mais les ré-

sultats de ces essais n'ont pas toujours été satisfaisants, à cause du peu de dureté des bancs houillers. Comme il s'agit de fissurer la houille sans produire de *menu*, les mines doivent avoir un large diamètre et ne renfermer qu'une faible charge de dynamite sans bourrage. Il nous semble difficile de décider s'il faut dans ce cas employer la dynamite, ou si l'on doit la rejeter d'une manière absolue, attendu que les résultats des expériences que l'on a faites jusqu'à ce jour dans ce sens, varient considérablement. Nous savons cependant que plusieurs mines belges, après avoir essayé la dynamite, ont complétement renoncé à son emploi.

Extraction des pierres.

Les mêmes remarques peuvent s'appliquer à l'extraction des pierres de construction : souvent, dans ce cas, il vaut mieux employer la poudre, dont l'action, moins violente que celle de la dynamite, ne désagrége pas la pierre, et n'amène pas de fendillements sur une aussi grande surface.

Travaux sous-marins.

Pour les travaux sous-marins, la dynamite présente de grands avantages et doit être préférée à la poudre. En effet, cette dernière substance nécessite des récipients assez volumineux et surtout très-résistants. Dans le cas contraire, les premières portions de poudre qui prennent feu développent une force suffisante pour briser cette enveloppe ; l'eau pénètre, et une partie notable de la poudre peut se trouver noyée avant d'avoir eu le temps de détoner ; on

reconnaît ce fait à la présence d'une couche de charbon à la surface de l'eau après l'explosion.

Avec la dynamite, au contraire, l'action est tellement instantanée, qu'on n'a pas à redouter cet accident, et que la solidité du récipient est sans importance. On introduit la matière détonante dans une boîte en zinc, ou mieux, dans un sac en caoutchouc, qu'on place simplement au contact de l'obstacle à renverser, en profitant des anfractuosités et des fentes naturelles que cet obstacle peut présenter.

C'est ainsi qu'on a appliqué avec succès la dynamite aux travaux des ports, à la destruction des navires coulés, etc.

En Amérique, on s'en est servi, à l'aide d'une méthode ingénieuse, pour l'extraction de l'huile de pétrole. Ce liquide se rencontre fréquemment par grandes nappes au-dessous de lacs, au fond desquels il est difficile de creuser des puits ; on perce alors des trous de sonde par lesquels le pétrole s'écoule. Quand la production diminue, on fait détoner au moyen de l'électricité un pétard de dynamite placé au fond du trou de sonde. L'ébranlement produit par l'explosion fissure le terrain sur une grande étendue, et forme de nouvelles issues par lesquelles l'écoulement recommence.

On pourrait peut-être, ainsi que l'a pensé M. Flachat, employer ce même procédé pour augmenter la production des puits, dans lesquels l'eau tarit fréquemment. On arriverait ainsi, par une série d'explosions pratiquées au fond de sondages, à fissurer le terrain de manière à atteindre des couches d'eau placées à de grandes distances.

Pour les travaux des ports, dans certains c
après avoir déterminé le point sur lequel on
agir, on peut se contenter de laisser tomber à la
face du rocher un paquet de dynamite muni d'
mèche allumée, dont la longueur sera proportio
à la profondeur de l'eau. Ce procédé ne peut s
pliquer que dans de rares circonstances, et on
préférer l'usage de l'électricité, qui permet d
avec plus de sûreté. A propos des travaux sous
rins, nous rappellerons que l'introduction d'un
tite quantité d'eau dans la dynamite ne nuit
ses propriétés explosives.

On peut se rendre compte de la puissance
dynamite sous l'eau au moyen de l'expérienc
vante :

« Dans un tonneau cerclé en fer, de 2 hect
de contenance, placé debout et rempli d'eau, o
par une ouverture faite à la partie supérieu
paquet de cartouches muni d'une mèche préa
ment allumée.

« Après l'explosion on ne retrouve plus trace d
neau. Un entonnoir de 40 centimètres de profo
s'était produit sur la place où il reposait » (B
Il suffit dans ces expériences d'employer deux
touches de dynamite. L'explosion projette en
sons les douves brisées et répand l'eau en pou
sur une large surface.

Enlèvement des ponts métalliques tombés sous l'eau.

Les ponts métalliques tombés sont d'un r
ment difficile à cause de leur poids et de la lon

pièces qui les composent ; on a souvent avantage
briser en fragments, dont l'extraction s'exécute
ite à l'aide des moyens ordinaires.
ns ce cas, ainsi que nous l'avons pratiqué pour
nt en tôle de Billancourt, il suffit en général
liquer des récipients pleins de dynamite contre
arois métalliques les plus résistantes.
st ainsi qu'avec une charge de 5 kilogrammes
namite nous avons pu briser et disjoindre les
réunissant des plaques de tôle d'une épaisseur
millimètres chacune.
abrége l'opération au moyen d'explosions si-
anées qui permettent de profiter des ébranle-
s partiels ; à l'aide de petites charges, on sépare
te les fragments encore adhérents. Il est clair
devra employer l'électricité pour ce genre de
ux et étudier sur un relevé exact du pont les
s sur lesquels l'explosion devra avoir lieu.

Sautage des glaces.

dynamite a été employée avec succès en Russie
'enlèvement des glaces sur les cours d'eau. Cette
tion doit avoir pour but de détacher des masses
ces facilement entraînables par le courant.
ır obtenir ce résultat, on dispose sur la glace
rie de cartouches les unes à la suite des autres.
recouvrant de terre ou de sable. Des quantités
namite, même considérables, placées isolément,
meraient que des entonnoirs, sans amener la
re de la glace sur une étendue suffisante. On
ıencera, dans tous les cas, par détacher la glace

sur les deux rives, soit à l'aide de la dynamite, soit par un moyen quelconque.

On pourrait aussi, après avoir pratiqué des trous dans la glace, descendre dans l'eau des cartouches munies d'un flotteur. L'explosion dans ces conditions produirait alors des effets bien plus puissants qu'à l'air libre.

L'usage de la dynamite permettrait aussi de dégager rapidement les navires retenus dans les glaces, ce qui habituellement exige une grande dépense de temps et de main-d'œuvre (1).

Pour briser les gros blocs de glace, on peut procéder comme pour le tirage des roches.

L'enlèvement des glaces ne s'opère avec succès que dans les eaux courantes. Dans les canaux, la glace, une fois divisée, resterait en place, et ne tarderait pas à se ressouder. Du reste, ce procédé doit être réservé aux cas exceptionnels et urgents, en raison du prix élevé de la dynamite et de la grande quantité de matière nécessaire à ces travaux.

Les terrains gelés, qui ont quelquefois une dureté comparable à celle de la pierre, peuvent être exploités au moyen de la dynamite, ainsi que nous l'avons fait dans plusieurs essais dont nous indiquons plus loin les résultats.

L'emploi de la dynamite permet d'utiliser des blocs de fonte trop volumineux pour être débités économiquement au tour, ou au moyen du casse-fonte; tels sont les gros laminoirs, loups, chabottes de marteau-pilon, etc. Lorsque la partie inférieure des hauts

(1) Une opération analogue a été exécutée pendant le siége de Paris, par MM. Brüll et Bouhé.

ourneaux se trouve obstruée par des loups, ce qui arrive fréquemment, il est quelquefois difficile d'enlever l'obstacle et de dégager la tuyère.

Une méthode généralement suivie consiste à percer dans la masse des trous de mine que l'on remplit d'eau et dans lesquels on introduit une barre de fer en forme de piston, dont une partie fait saillie au dehors. Sur l'extrémité de cette barre, on laisse tomber au moyen d'une sonnette un bloc pesant de fonte ou de fer, et la forte pression qui se répartit sur toute la surface intérieure du trou, en raison du peu de compressibilité de l'eau, amène souvent le brisement de la masse métallique.

Ce procédé est long et dispendieux, et la nécessité de percer des trous verticaux rend souvent cette méthode impraticable dans certains hauts fourneaux. On devra dans la plupart des cas lui substituer l'emploi de la dynamite.

Expérience faite chez M. Hamoir.—Comme exemple de brisement de pièces en métal, nous citerons un essai que nous avons fait à Maubeuge, dans l'usine de M. Hamoir, sur une chabotte en fonte pesant 3500 kilogrammes. Sur une des faces les plus larges, on a foré deux trous de 25 millimètres de diamètre sur 42 centimètres de profondeur. Un troisième trou n'a pu dépasser une longueur de 34 centimètres, vu la présence de grains aciéreux que rencontrait l'outil. La mine centrale a été chargée de 150 grammes de dynamite à 70 pour 100, et bourrée avec du sable humide. La chabotte avait été placée dans une fosse laissant environ 50 centimètres de vide entre la face forée et la terre. Une fois

le bourrage presque terminé, une tige en fer
grosseur des trous, et pénétrant de 2 à 3 centin
dans l'intérieur, a été arc-boutée contre la terre
d'augmenter la résistance du bourrage. La pre
explosion a cassé le bloc en deux morceaux su
un plan vertical. Les deux autres coups ont e
résultats analogues. Un certain nombre d'éclat
été séparés, et quelques-uns projetés à de gr
distances.

La mine, dont la profondeur n'était que de 3
timètres, a fourni des résultats identiques aux a

Nous en avons conclu qu'on peut souvent ré
les frais de percement, qui sont toujours dispend
A la deuxième explosion, un bloc pesant en
600 kilogrammes a été soulevé et projeté à plu
mètres hors de la fosse. Deux mines de 25 cen
tres suffisaient pour diviser les éclats, que leu
lume aurait empêché de soumettre directemen
fusion.

Dans cette expérience, nous avons constaté u
curieux. La charge de dynamite occupant la r
de la profondeur de la mine, le diamètre de
dernière a augmenté dans toute la hauteur
charge, et la cavité présentait l'aspect d'un
de cône, ayant pour base la partie inférieur
trou; en cet endroit, le diamètre, après expl
était de 38 millimètres, soit 13 millimètres d
mentation. Les parois étaient gercées et présen
les traces d'un violent écrasement.

*Disposition à prendre pour le cassage des blocs m
liques.* — Voici comment nous conseillerons de
céder dans les essais de ce genre, afin d'assu

succès de l'opération tout en se mettant à l'abri du danger.

Placer le bloc métallique dans une fosse assez profonde pour qu'il soit tout entier au-dessous de la surface du sol. Pratiquer sur une des parois verticales un nombre de trous proportionnel aux dimensions de la masse. Ces mines auront une profondeur égale à la moitié environ de l'épaisseur du bloc et seront disposées de telle sorte que la résistance soit à peu près la même dans tous les sens. Un diamètre de 25 à 30 millimètres est généralement suffisant.

Charger avec de la dynamite occupant, une fois tassée, la moitié de la profondeur du trou; bourrer au moyen de la terre ou du sable, laisser quelques centimètres de vide et introduire dans le trou une barre de fer qu'on arc-boutera contre les parois de la fosse; recouvrir la fosse de madriers ou de planches, afin d'éviter les projections d'éclats. Dans le cas où on fera usage de l'électricité, les explosions devront être simultanées. Quelques coups de mine suffiront ensuite pour briser les éclats d'un volume trop considérable.

On peut aussi ne pratiquer qu'un seul trou de mine d'un large diamètre, et le charger d'une forte quantité de dynamite, mais on obtient souvent ainsi une division moins grande.

Lorsque les charges et la disposition des mines ont été calculées avec exactitude, il y a peu de projections, l'effet utile étant absorbé, pour la plus grande partie, par le brisement de la masse. Dans le cas contraire, les éclats possèdent généralement une

vitesse faible ; ils se voient alors distinctement et on peut les éviter : quelques-uns cependant peuvent être animés d'une telle impulsion, qu'ils vont tomber à une grande distance, et peuvent amener des accidents.

A plusieurs reprises, nous avons vu des fragments de métal pesant 6 à 8 kilogrammes, lancés à plus de 200 mètres du lieu de l'explosion.

Explosion à Kœnigshütte (Silésie supérieure). — « Sous le trou de coulée d'un haut fourneau s'était rassemblée une masse de fonte d'environ 600 centner (soit 30 000 kilogrammes). Il fallait l'enlever.

« On avait essayé sans succès des charges de poudre de 1 livre dans un trou de 24 pouces de profondeur et trois quarts de pouce de diamètre.

« On introduisit alors dans le trou 4 1/2 loth (ou 37gr,48) de nitroglycérine, on bourra avec du sable et on mit à feu.

« Un bloc de 150 centner fut détaché (7 500 kilogrammes) ; à l'aide d'autres trous dont la charge ne dépassa pas 4 loth (33gr,3), la masse put être successivement divisée en blocs de 10 à 50 centner (soit de 500 à 2 500 kilogrammes). » (Barbe.)

Essais divers. — Action de la dynamite sur la fonte, le fer, etc.

Fonte. — 1° Une plaque de fonte d'environ 25 centimètres de côté sur une épaisseur de 12 millimètres a été placée sur deux tasseaux. A la surface on a disposé un pétard de 40 grammes de dynamite (à 25 pour 100) recouvert d'une plaque de fer de

20 centimètres sur 30 centimètres; épaisseur $6^{mm},5$.

La plaque de fonte a été brisée en six morceaux.

La plaque de fer, projetée violemment à 5 mètres, a été légèrement cintrée avec fente de 5 à 6 centimètres de long.

2° Dans les mêmes conditions, avec une charge de 90 grammes de dynamite, la plaque de fer a subi une dépression avec fente de 12 centimètres de long, écartement d'un demi-millimètre. La plaque de fonte présentait des places polies, légèrement déprimées, analogues à celles qu'aurait produites le choc d'un fort coup de marteau.

Poche cylindrique en fonte. — Hauteur, 13 centimètres; diamètre intérieur, 8 centimètres; épaisseur, 18 millimètres; épaisseur de la calotte, 5 centimètres. Posée sur fond. Charge, 300 grammes de dynamite (à 25 pour 100). Eclats, 48 à 50; calotte divisée en trois morceaux fendillés en tous sens.

Fer. — 1° Plaque de tôle de 3 millimètres d'épaisseur, reposant sur la terre. 40 grammes de dynamite (à 25 pour 100), renfermée dans un tube de 10 centimètres de long.

La plaque a été déchirée sur la longueur du pétard avec renfoncement de 1 centimètre. Largeur de la gerçure, 2 millimètres.

2° La même quantité de dynamite a été renfermée dans un tube de longueur double, soit 20 centimètres. Le déchirement de la plaque a eu lieu également sur toute la longueur du pétard. Largeur de la gerçure et renfoncement moindres que précédemment.

3° Plaque de tôle semblable placée verticalement



ce développée par l'explosion.
es de diamètre suffit généra-
dynamite dépend de la pro-
diamètre de la souche. On
bourrage en fermant le trou de
en bois échancré, de manière
he, et enfoncé à refus.
en général un grand nombre
L'opération se termine au
r. On obtiendra un meilleur
d'abord la souche, afin d'em-
moins, la résistance qu'oppose
permet d'extraire économique-
abandonne souvent au milieu
es difficultés et du prix d'arra-

la dynamite à la pêche.

ous-marins, on a souvent re-
plosion de la dynamite ou d'une
dre, un grand nombre de pois-
ter à la surface de l'eau. Cette
l'idée d'employer la dynamite
êche. Entre des mains exercées,
losive peut en effet donner lieu
rtants.
ue cartouche du poids de 50 à
morce surmontée d'une mèche
10 centimètres de longueur, que
gature solide. On attache la car-
it de bois qui doit servir de flot-

teur et qui est muni d'une corde longue de 1 mètre, à l'extrémité de laquelle on place une pierre assez lourde pour entraîner le flotteur. Dans ces conditions, la cartouche surnage à 1 mètre au-dessus du fond de la rivière.

On descend avec précaution sous l'eau la cartouche ainsi préparée et on l'abandonne après avoir mis le feu à la mèche.

Si on supprimait le flotteur et la pierre, une partie de l'effet utile se produirait sur le fond même au milieu de la vase et n'aurait pour résultat qu'une dépression plus ou moins grande du sol, sans profit pour la pêche.

Lorsque, au contraire, la cartouche est suspendue, la commotion se communique dans tous les sens et atteint le poisson dans un périmètre plus étendu.

Il est utile d'employer une mèche d'une longueur d'au moins 30 à 40 centimètres. En effet, au bruit produit par la chute de la cartouche et de la pierre, le poisson prend la fuite et il est nécessaire de lui donner le temps de revenir avant l'explosion, soit qu'il se rassure, soit que la présence des bulles de gaz qui proviennent de la combustion de la mèche l'attire en excitant sa curiosité.

Au moment de l'explosion, si la distance de la cartouche à la surface de l'eau est d'environ 2^{m},50, on n'entend qu'un bruit analogue à celui d'un coup de fouet. Quelques secondes après l'eau est soulevée en forme de boule de 1^{m},50 de diamètre.

Les poissons les plus rapprochés du lieu de l'ex...on ne tardent pas à monter à la surface et so... ...r le coup. Ils portent parfois des traces d'écr...

sement violent. Les autres n'apparaissent qu'au bout de quelques instants et ne sont qu'étourdis. L'approche de la main qui veut les saisir suffit quelquefois pour les ranimer et les faire disparaître. Aussi doit-on se hâter de les recueillir avec un filet emmanché au bout d'une perche.

L'explosion d'une seule cartouche placée à 2 mètres de la berge produit sur celle-ci une commotion très-appréciable.

Suivant la profondeur, on peut augmenter le nombre de cartouches.

Cette méthode rentre certainement parmi celles qui sont prohibées en France par les lois sur la pêche.

En Norwége, il paraît que la pêche avec la dynamite ne se pratique plus à titre d'expérience, mais qu'on emploie ce procédé avec succès pour pêcher les poissons qui arrivent par bancs à certaines époques de l'année.

M. Barbe, qui a fait des essais de ce genre sur les côtes de France, admet que 500 grammes de dynamite numéro 1 produisent une action énergique sur le volume d'eau compris dans un cône dont le rayon est de 40 ou 50 mètres et la hauteur égale à 10 mètres.

APPLICATIONS DE LA DYNAMITE
A LA GUERRE.

Destruction des palissades.

D'après ce que nous avons dit des effets de la dynamite sur le bois, on comprend que, pour renverser les palissades, il suffira de disposer à leur partie inférieure une série de cartouches ou de récipients contenant une quantité de dynamite proportionnelle à l'épaisseur des madriers. Pour ces opérations, on emploiera avec succès des saucissons en toile imperméable pesant environ 2 kilogrammes par mètre courant, et remplis de dynamite forte. Cette quantité est suffisante dans la plupart des cas.

Expérience faite à Saint-Cyr. — La palissade qu'on avait construite en vue de nos essais avait une longueur de 1 mètre et était du modèle ordinaire. On plaça à la base un saucisson renfermant $2^k,5$ de dynamite à 50 pour 100. L'explosion provoque l'abatage entier des pieux dont plusieurs fragments furent projetés au loin.

« On a produit des ruptures aux palissades du modèle ordinaire en employant d'abord un saucisson
chargé de 2 kilogrammes par mètre et sus-
les deux extrémités aux pointes de la pa-
par un tuyau de zinc contenant $2^k,600$
lacé à l'air libre au pied de la palissade.
explosion, sur 14 pieux enterrés,
hauteur du saucisson, et 5 sont

atteints plus ou moins profondément sans être renversés. Dans la seconde explosion, au contraire, les 5 pieux placés devant le tuyau de zinc sont nettement rasés. On a pu constater, en outre, dans la seconde explosion, qu'aucun éclat n'était projeté du côté de l'opérateur (1). »

Portes, cloisons minces en bois, platras, etc. — On peut opérer comme précédemment ou former à l'avance des chapelets avec des cartouches pesant de 80 à 100 grammes chacune, et espacées entre elles de 10 centimètres. En accrochant au moyen de clous les extrémités de la corde qui supporte les cartouches, il suffira d'amorcer une seule d'entre elles pour que l'explosion se propage instantanément sur toute la ligne. Le poids des cartouches devra varier avec l'épaisseur des obstacles.

Le bourrage, quand il est possible, permet dans ces deux cas de diminuer notablement la quantité de substance explosive, sans modifier les résultats ; on peut employer dans ce but des sacs à terre, débris quelconques, etc.

Essais sur les murs (2).

« La troisième série d'expériences a été faite sur un mur de 3 mètres de hauteur et de 42 centimètres d'épaisseur, construit en bons moellons hourdés de mortier de chaux et sable jointoyés en plâtre, et formant des assises régulières au moins à la partie inférieure.

(1) Barbe et Brull.

(2) Extrait d'un rapport du commandant Houbigant (janvier 1871) sur des expériences que nous fîmes avec son concours.

« Le mur, recouvert d'un chaperon en dalles, était très solide et fait avec des matériaux de très-bonne qualité; on doit le considérer comme un mur de clôture de la plus grande solidité qu'on puisse rencontrer.

« Un bidon contenant 3k,800 de dynamite à 50 pour 100 a d'abord été posé verticalement au pied du mur; le tube en cuivre de l'amorce a été introduit dans la dynamite par un trou fait au bouchon du bidon, juste suffisant pour le laisser pénétrer à frottement, et le feu a été donné. Une brèche de 80 centimètres de largeur moyenne et de 85 centimètres de hauteur a été ouverte au pied du mur. Elle présentait à peu près le même aspect sur les deux parements. Bien qu'à la partie supérieure les moellons de ces deux parements soient restés en place, il s'est formé entre eux un vide de 30 centimètres de hauteur dans l'épaisseur du mur. Il n'y a pas eu de projection sensible du côté où a été placée la dynamite; mais, de l'autre côté, des moellons ont été projetés jusqu'à 15 mètres de distance sur la perpendiculaire au mur.

« Outre la brèche faite, une notable portion du mur a été ébranlée, et, avec peu d'efforts, à la main ou avec un manche d'outil, on a dégagé une brèche de 1m,15 de hauteur sur 1m,70 de largeur. »

« Une deuxième expérience a été faite exactement dans les mêmes conditions, mais en arc-boutant le bidon de dynamite au moyen de quatre sacs à terre (fig. 10). L'effet produit a été notablement augmenté : la brèche avait 1m,70 de largeur moyenne et 2m,40 de hauteur; mais le pied était encombré de moellons tombés sur 70 centimètres de hauteur. Le mur était

ébranlé sur toute sa hauteur et sur plus de $2^m,50$ de largeur. Les sacs à terre ont été projetés à 25 mètres environ en arrière et une grande quantité de moel-

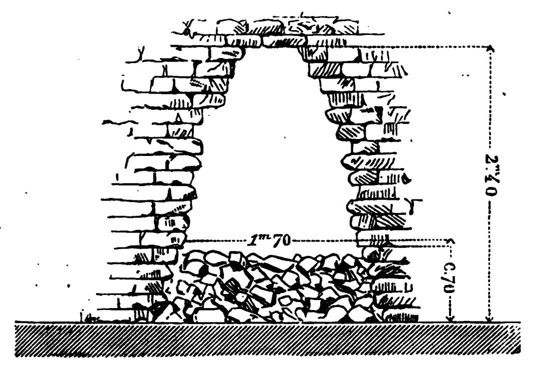


Fig. 10.

lons ont été projetés en avant, quelques-uns jusqu'à plus de 60 mètres. Le bourrage augmente donc d'une façon très-notable les effets de la dynamite ; mais les sacs à terre pleins sont lourds, incommodes à porter. Leur pose retarde un peu la mise à feu, leur emploi oblige du reste, en présence de l'ennemi, à exposer plus d'hommes.

« Dans la troisième expérience, on a cherché à déterminer la méthode la plus avantageuse pour placer le bidon de dynamite sans employer de sacs à terre. Pour cela, on a dressé contre le mur une dalle de 70 centimètres de hauteur et on y a posé le bidon ; puis, sans autres préparatifs, on a donné le feu à l'amorce. La brèche, élevée de 50 centimètres au-dessus du sol, a présenté une ouverture de 80 centi-

mètres de longueur sur 1 mètre de hauteur sur le parement contre lequel avait été placée la dynamite et de 1 mètre sur 1m,50 sur le parement opposé (fig. 11).

« Le mur était du reste ébranlé sur 2 mètres de largeur et 2 mètres de hauteur, et la brèche a pu être agrandie dans ces proportions par un faible effort de la main. Il y a donc avantage notable à relever le bidon de dynamite vers le tiers de la hauteur du mur au lieu de le poser sur le sol même.

« Une quatrième expérience a été faite pour contrôler un effet précédemment observé par M. Champion (1).

« Il avait constaté que, quand on plaçait une charge de dynamite contre l'un des quatre murs intérieurs d'une chambre, il ne se faisait qu'une brèche à ce

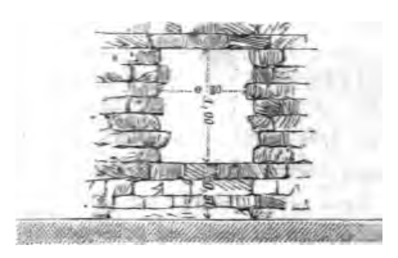


Fig. 11.

mur, tandis que les trois autres étaient renversés. En revanche, quand on plaçait la charge au milieu de la chambre, les quatre murs périclitaient également. Il s'est alors demandé s'il n'y a pas avantage à écarter un peu la charge du mur à démolir quand on peut

(1) Voir plus loin, *Abatage des maisons.*

l'arc-bouter. 4 kilogrammes de dynamite dans deux sacs en toile, c'est-à-dire à très-peu près le même poids de dynamite que dans les trois expériences précédentes, ont été placés sur un moellon de 15 centimètres de hauteur au-dessus du sol et à 50 centimètres du mur dans une niche ouverte vers celui-ci et formée de quatre sacs à terre. Une petite brèche

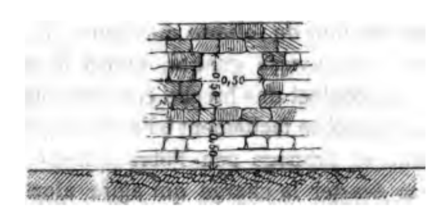


Fig. 12.

de 50 centimètres sur 50 centimètres seulement s'est produite; mais le mur a été ébranlé sur toute sa hauteur et sur plus de 3 mètres de largeur. Les dalles du chaperon ont été déplacées. En quelques coups de main, sans outils, toute cette partie ébranlée a pu être dégagée (fig. 12).

« Il est probable qu'avec un mauvais mur maçonné en terre, comme le sont la plupart des murs de clôture, l'avantage de ce mode de faire eût été plus saisissant (1).

(1) Pour faciliter la comparaison des effets produits, ces croquis sont faits à la même échelle. Ils représentent l'élévation de la brèche du côté du mur où l'on a placé la dynamite immédiatement après l'explosion. Pour se rendre compte de la partie ébranlée qui était facilement démolie, se reporter au rapport, sans lequel ces croquis donnent une idée fausse des résultats comparés.

« Il semble, d'après cette expérience, qu'il y a pour la disposition de la charge, par rapport au mur à renverser, de manière à produire l'effet le plus satisfaisant possible, une observation préalable à faire de la solidité probable du mur comparée au poids de la dynamite employée. Celui-ci sera fixé à la guerre. Les bidons de dynamite étant préparés à l'avance et contenant une quantité de matière suffisante pour renverser un mur de solidité maximum (1). Plus le mur sera de mauvaise qualité, moins il sera facile d'y faire au contact une brèche considérable ; car un mauvais mur cède facilement à l'action brisante de la détonation et propage peu l'ébranlement : il faudra donc écarter la charge qui agira alors sur une plus grande surface et, grâce à la mauvaise qualité de la construction, avec une intensité suffisante pour opérer le renversement.

« Enfin, une cinquième expérience a été faite. Dans un créneau de 24 centimètres sur 14 centimètres, quatre cartouches de dynamite en papier et pesant chacune 75 grammes ont été placées sans bourrage; le créneau était à $1^{m},30$ au-dessus du sol. L'explosion a ouvert une brèche de 60 centimètres sur 30 centimètres du côté de l'amorce, de 70 centimètres sur 90 centimètres du côté opposé. L'ébranlement a permis de démolir à la main un rectangle de 1 mètre sur 80 centimètres à 1 mètre au-dessus du sol.

« En résumé, les expériences faites le 23 janvier

(1) Il serait préférable d'employer des récipients ne renfermant que la quantité de dynamite qu'un soldat peut porter en courant et d'accumuler à l'endroit voulu le nombre de récipients nécessaires.

P. C.

sont toutes concluantes en faveur de l'emploi de la dynamite de préférence à la poudre toutes les fois qu'il s'agit de produire rapidement un effet destructif.

« Son poids est très-faible relativement à celui de la poudre qui serait nécessaire pour produire les mêmes effets, et la charge n'a pas besoin d'être arc-boutée pour donner le résultat satisfaisant. Par conséquent, sans fatigue notable, un sapeur peut apporter avec lui de très-loin tout ce qui est nécessaire pour faire à un mur une brèche pouvant donner accès à une colonne ou pour produire d'autres effets du même ordre. »

Expérience faite à Drancy en 1870. — Mur de 40 centimètres à la base; moellons résistants, à 50 centimètres au-dessus du sol. Epaisseur, 30 centimètres; hauteur, $2^{m},50$; dynamite, $3^{k},500$. Le contact assuré au moyen de deux sacs à terre. Renversement du mur sur une longueur de 3 mètres; on peut expliquer la formation de cette large brèche pour une faible quantité de dynamite, par ce fait que le mur était interrompu d'un côté, ce qui diminuait notablement sa résistance.

Essai fait à l'École d'application de Fontainebleau. — « 6 kilogrammes de dynamite à 50 pour 100 de nitroglycérine sont placés à 10 centimètres du pied d'un mur de 64 centimètres d'épaisseur, en maçonnerie de moellons rejointoyés, consolidé de 3 en 3 mètres par des chaînes en pierre de taille. Le feu est donné au moyen de l'exploseur *coup de poing*. L'explosion arrache une partie du revêtement, brise les tuiles du chaperon et désagrége la maçonnerie au point qu'en quelques instants on a pu ouvrir à la main et à la

pioche une ouverture de 68 centimètres de côt
aurait suffi de très-peu de temps et de travail
donner à cette brèche des dimensions plus cons
rables.

« M. Champion déclare que, d'après le résultat
expériences qu'il a faites personnellement, c
quantité de 6 kilogrammes suffit pour ouvrir
brèches de largeur convenable dans les murs de
ture ordinaires des environs de Paris (1). »

Essai fait à l'Ecole militaire de Saint-Cyr. —
en moellons fraîchement construit. Largeur, 3 mèt
hauteur, 2 mètres ; épaisseur, 30 centimètres. Dy
mite à 50 pour 100, 6 kilogrammes, disposés dans
boîtes en zinc à la partie inférieure du mur, sans b
rage. L'explosion a renversé le mur sur toute
étendue en arrachant les fondations avec dépres
profonde du sol.

Un grand nombre de débris ont été projetés
côté de l'opérateur.

Abatage d'un mur à Avron. Décembre 1870. —
mur que nous attaquions était en moellons et d'
épaisseur d'environ 35 centimètres ; il gênait le
du canon et servait de retranchement à l'ennemi.
sapeurs du génie commencèrent par abattre une
tie du mur, avec les moyens habituels. Pendan
temps, nous disposâmes, le long de la partie qui
était réservée, des boîtes renfermant chacune 2k,
de dynamite, et distantes les unes des autres d'e
ron 10 mètres. Lorsque l'approche de l'ennemi né

(1) Extrait du *Bulletin de la réunion des officiers.* Co
rendu des expériences faites sur la dynamite à l'Ecole d'a
cation du génie et de l'artillerie à Fontainebleau, 21 avril

sita la retraite, on mit le feu aux boîtes de dynamite, dont l'explosion produisit de larges brèches.

On obtiendra un résultat beaucoup plus rapide et plus considérable, en commençant par l'emploi de la dynamite, et en renversant, à l'aide des outils ordinaires, les parties de mur déjà ébranlées qui auraient résisté à son action.

Dans des cas semblables, en effet, les travaux doivent être conduits avec une grande célérité sous peine de compromettre la vie des hommes engagés dans les reconnaissances.

Abatage des murs à Buzenval. — L'ennemi était retranché derrière les murs de clôture qui s'étendaient le long du bois ainsi que dans le parc. Une première explosion forma brèche. L'opération présentait de grandes difficultés. Les hommes chargés du transport de la dynamite étaient peu nombreux et les ordres se renouvelaient fréquemment. Néanmoins quelques soldats et hommes du génie volontaire, sous la direction de M. Pellet, notre collaborateur, purent approcher des endroits indiqués, et au moyen de sacs de dynamite du poids de 2 kilogrammes, faire des ouvertures permettant à plusieurs soldats de passer de front. Les murs étaient peu épais, et il suffisait de placer la dynamite à leur partie inférieure sans aucun bourrage.

Abatage des murs en général. — D'après ce qui précède on peut conclure que le mode d'action devra varier avec les circonstances et l'épaisseur des murs. Dans le cas où l'abatage doit porter sur une certaine longueur, la dynamite, si on n'en a pas à sa disposition une quantité considérable, ne pouvant

qu'ébranler les murs ou pratiquer des brèches d'une faible largeur, son emploi devra dans tous les cas précéder le travail du génie. En se reportant au rapport que nous venons de citer, on voit qu'il suffit d'une faible main-d'œuvre et d'un temps relativement très-court pour renverser le mur le plus épais. Pour les murs peu résistants, on se contentera de disposer à quelques centimètres au-dessus du sol une série de récipients ou de grosses cartouches reliées en chapelet.

Dans ce cas comme dans tous les autres, le bourrage augmente notablement l'effet produit. Quant aux quantités de dynamite à employer, il est difficile de les fixer d'avance. Elles dépendront de l'épaisseur du mur, de sa hauteur et des matériaux qui ont servi à sa construction.

« M. Barbe (1) et la plupart des ingénieurs français et étrangers, se fondant sur des expériences autrichiennes, demandent que la dynamite soit placée au contact immédiat de l'obstacle à renverser, qu'elle soit disposée en saucissons longitudinaux au pied même du mur quand on se propose de l'abattre sur une certaine longueur, et que les cartouches soient appliquées en forme de chapelet sur le contour de la surface à percer, quand il s'agit d'une embrasure à dimensions limitées. M. Champion affirme au contraire, d'après le résultat d'expériences qu'il a faites en janvier 1871, pendant le siége de Paris, de concert avec le commandant Houbigant (voir le numéro 18 du *Bulletin*), qu'on obtient un meilleur résultat en dis-

(1) *Bulletin de la réunion des officiers*, n° 25.

posant la matière détonante à une petite distance (10 centimètres environ) en avant du mur, de façon à mettre en vibration une colonne d'air d'un certain volume, et à répartir ainsi l'effet de la charge sur une plus grande surface.

« M. le lieutenant B... cherche à justifier cette dernière méthode par des considérations théoriques. Partant de ce principe, que tout corps détonant, quelle que soit la rapidité de sa déflagration, produit dans un milieu homogène, tel que l'air atmosphérique, un ébranlement se propageant sphériquement, et dont l'intensité, inversement proportionnelle à la surface sphérique, varie par conséquent en raison inverse du carré du rayon, c'est-à-dire de la distance au centre d'explosion, M. B... conclut de là : 1° que la charge de la dynamite doit être placée vis-à-vis du centre de résistance du mur ; 2° qu'elle ne doit pas toucher le mur, car alors il pourrait arriver que son effet se réduisît à un simple trou plus petit que la brèche que l'on veut obtenir, et il y aurait, par compensation, projection des débris du mur à une grande distance, ce qui est inutile et dangereux.

« Recherchant ensuite le meilleur emplacement à donner à la dynamite pour obtenir, avec une charge minima, une brèche de largeur 2 L, et considérant que la résistance du mur à une percussion quelconque est d'autant plus grande que cet élément est plus rapproché du sol, il établit que la charge doit être placée sur le sol vis-à-vis du milieu de la brèche à ouvrir, que cette brèche affectera la forme d'une demi-ellipse ayant son centre au point O, projection de la charge, et son demi-axe vertical plus grand que

le demi-axe horizontal, la résistance par unité de surface étant plus grande en A qu'en B.

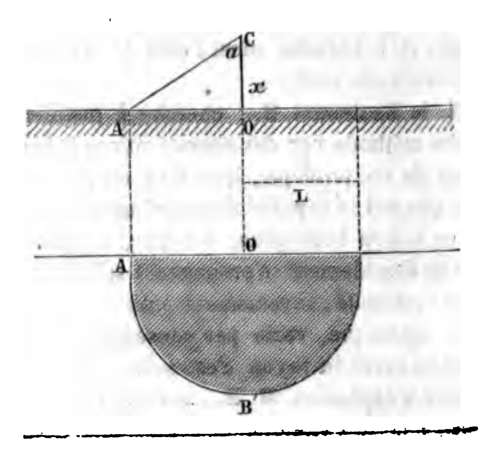


Fig. 18.

« La charge étant placée en C, à une distance x du mur, soit r la distance du centre de la charge au point A, extrémité de la brèche, à l'angle ACO, et F la force vive ou de percussion développée dans l'air par l'explosion de la dynamite sur l'unité de surface d'une sphère de rayon I ayant pour centre le point C : la composante normale au mur, de la percussion en A, a pour expression, d'après le principe posé ci-dessus :

$$\frac{F}{r^2}\cos a, \text{ ou } \frac{F}{x^2}\cos^3 a$$

ou encore

$$\frac{Fx}{(x^2+L^2)^{\frac{3}{2}}},$$

en remarquant que $\cos a = \frac{x}{\sqrt{x + L^2}}$

« Mais cette composante devant être au moins égale à la résistance du mur au point A, quantité fixe qui dépend de la nature et des dimensions du mur, il s'ensuit que F sera minimum, lorsque le facteur $\frac{x}{(x^2 = L^2)^{\frac{3}{2}}}$ sera maximum, c'est-à-dire lorsqu'on aura, d'après la théorie des dérivées :

$$(x^2 - P^2)^{\frac{3}{2}} - \frac{3}{2} x (x^2 + L^2)^{\frac{1}{2}} 2x = 0,$$

ou $$[(x^2 + L^2) - 3x^2][x^2 + L^2]^{\frac{1}{2}} = 0,$$

ou enfin $x^2 + L^2 = 3x^2$, d'où $a\sqrt{2} = L$, résultat qu'on peut énoncer en disant qu'on obtient un effet maximum avec une quantité donnée de dynamite, en plaçant la charge à une distance du pied du mur égale au côté du carré qui a pour diagonale la demi-largeur de la brèche à obtenir.

« La théorie de M. B.., repose tout entière sur le principe que l'ébranlement produit par l'explosion se transmet uniformément dans toutes les directions, ce qui est vrai si la charge est placée à une distance assez grande du mur, mais ce qui paraît beaucoup moins probable quand le mouvement de la masse d'air ébranlée est modifié, à une très-faible distance de la charge, par la résistance du mur. Or c'est ce qui a lieu précisément dans la méthode de M. Champion, puisque, d'après ce chimiste, l'intervalle à

laisser entre la charge et le mur ne doit être dans tous les cas que d'un petit nombre de centimètres, quantité très-inférieure à ce que donnerait la formule ci-dessus, même pour une brèche d'une faible ouverture. »

Les notes qui précèdent demandent quelques explications de notre part ; nous ferons remarquer que dans les expériences que nous fîmes avec le commandant Houbigant, la distance qui séparait la dynamite du mur était de 50 centimètres, distance qu'on devra augmenter si l'on emploie des charges plus considérables de dynamite. Dans ces conditions, on se rapproche de la théorie émise par M. le lieutenant B...

Quant à l'expérience faite à l'Ecole d'application de Fontainebleau et sur laquelle s'appuie l'auteur de l'article que nous venons de reproduire, ne disposant pas d'une quantité suffisante de dynamite pour renverser au moins une partie du mur qu'on avait mis à notre disposition (épaisseur, 64 centimètres), nous pensons qu'on ne peut en tirer aucune conclusion.

En nous reportant au rapport du commandant Houbigant, nous voyons que la même quantité de dynamite, appliquée contre le mur que nous attaquions, placée à la distance de 50 centimètres, a produit des effets très-différents.

Il est évident que ce mode d'emploi ne doit avoir lieu que dans le cas où on dispose de quantités suffisantes de dynamite pour produire par application une brèche d'une certaine largeur, car si d'une part l'action à distance agit sur une plus grande surface, d'une autre le choc par unité de surface est moindre. ésulte que si l'on ne se trouve pas dans ces

conditions, on devra agir au contact : des quantités très-faibles relativement de dynamite permettant dans la plupart des cas de pratiquer des petites ouvertures ou un ébranlement, dont on profitera pour achever l'abatage du mur.

Abatage des maisons. — 1° Maisonnette donnant sur une rue, à Drancy, largeur 3^m,50. Dynamite à 50 pour 100, 4 kilogrammes placés intérieurement contre le mur de la rue.

Portes et fenêtres ouvertes. La maison fut renversée sans projection. Le mur contre lequel reposait la dynamite restait seul debout. Il présentait une baie de 50 centimètres de diamètre, et était fendillée dans toute sa hauteur.

2° Cabane en moellons à Bobigny. Epaisseur des murs, 30 centimètres; 4 kilogrammes de dynamite à 50 pour 100 furent déposés dans le coin qui parut offrir le plus de résistance, vis-à-vis de la porte.

La cabane fut renversée totalement, les pierres d'assises arrachées et projetées au loin.

De la première expérience nous avons conclu qu'il était important pour le sautage des maisons de disposer la dynamite au centre du bâtiment, pour employer la quantité minima de substance explosive et exercer en même temps une action égale sur toute la surface intérieure de la chambre d'explosion. L'expérience a confirmé cette opinion.

Enlèvement de postes ennemis à Drancy. Janvier 1871. — Ces postes au nombre de trois, étaient établis dans des maisons de garde-barrière situées sur le chemin de fer de Soissons et éloignées l'une de l'autre d'un kilomètre environ.

Les dimensions de ces maisons étaient les suivantes : hauteur, 3m,50 ; largeur, 3 mètres sur 5 ; épaisseur des murs, 53 centimètres. A la partie inférieure se trouvait une cave. Chaque colonne d'attaque était munie de quatre sacs renfermant chacun 3 kilogrammes de dynamite à 50 pour 100. Néanmoins le peu de temps qu'on pouvait consacrer à la destruction des postes après leur enlèvement, ainsi que le désordre qui accompagne forcément ce genre d'opération, surtout pendant la nuit, ne permirent pas à tous les hommes chargés de dynamite d'arriver à temps sur les lieux de l'opération.

Les charges furent ainsi réparties : 1°, 12 kilogrammes ; 2°, 9 kilogrammes ; 3°, 6 kilogrammes.

La dynamite était placée au milieu de la salle du bas. Quand le matin nous revînmes pour examiner au moyen de longues-vues les résultats des explosions, un tas de décombres indiquait seul l'emplacement des maisons.

On peut conclure de là que la charge de 6 kilogrammes de dynamite était largement suffisante.

Nous ferons remarquer que le bruit de l'explosion de la dynamite ne peut être confondu avec celui du canon ; tandis que ce dernier est sourd et prolongé, le premier est clair et strident.

Application de la dynamite à la destruction des ouvrages d'art (1).

« Le mode d'emploi de la dynamite est évidemment variable, et les dispositifs dépendent essentiellement

(1) Nous tenons les renseignements suivants de M. L. Leygue, ingénieur civil.

s conditions dans lesquelles on doit agir. A ne nsidérer que les ouvrages, on se trouve devant s ponts en maçonnerie, en fer ou en charpente, à ne considérer que le temps, on aura autant latitude pour établir des fourneaux de mine ou in on sera pressé par l'approche de l'ennemi. »

« *Ponts en maçonnerie.* — Le procédé le plus simple, ais aussi le plus long, consiste à pratiquer des ambres de mine au niveau des naissances dans les les intermédiaires, pour les ouvrages à plusieurs ches, ou dans la culée pour les ouvrages d'une ule arche. Ces chambres peuvent être disposées r le modèle des fourneaux de mine actuellement optés par le génie avec emploi de la poudre; mais ns l'hypothèse d'une construction nouvelle, on urra, sans crainte de non-réussite, diminuer les nensions de ces fourneaux et s'entourer de moindre écaution pour les chambres de bourrage. Un mode is rapide d'emploi consisterait à disposer sur la f d'une arche et parallèlement aux génératrices douelle un fort cordon de dynamite. Celle-ci sé- t recouverte de terre, planches et lourds maté- ux, afin d'augmenter la réaction verticale descen- nte du choc produit par l'explosion.

« Quoi qu'il en soit, nous ne pouvons recomman- ce dispositif dans lequel l'ouvrage est attaqué ns le sens de sa plus grande résistance. Il nous raît plus rationnel de placer la même quantité dynamite sous le pont, de l'y assujettir par un hafaudage volant. Dans ces conditions, on sollicite soulèvement de la clef, et celle-ci brisée, les reins l'ouvrage doivent s'affaisser.

« Si l'on se trouvait devant un ouvrage à plusieurs arches dont les piles fussent immergées, il suffirait peut-être d'attaquer une pile par le pied. L'eau servant alors de bourrage, les sacs de dynamite seraient placés contre les maçonneries dégagées de ses encochements. Ce dispositif s'attaquant aux portées les plus stables de la construction, ne nous paraît pas très-recommandable.

« Dans notre pensée, la meilleure disposition, tout en admettant que l'on soit pressé par le temps, consisterait à creuser dans la clef, à l'extrados de l'ouvrage, un sillon de 10 à 15 centimètres sur les hauteurs et longueurs des génératrices maximes, à y introduire la dynamite dont on dispose et à terminer cette sorte de fourneau par le meilleur bourrage que le temps disponible permettrait de faire.

(On peut remplacer le non-bourrage par une quantité plus forte de dynamite. On arriverait au même résultat de brisement.)

« L'explosion, en faisant naître à la clef une pression, développera précisément des forces sans lesquelles le pont s'écroulerait, si dans les conditions ordinaires ses dimensions étaient insuffisantes.

« *Ponts avec tabliers métalliques.* — En mettant de côté la destruction par les fourneaux de mine, dont on fera évidemment usage s'ils ont été établis dans la construction des piles et des culées, le dispositif naturel de sautage consiste à placer de forts bidons de dynamite sous les plates-bandes des poutres, principalement aux points d'appui naturels du tablier, c'est-à-dire à l'aplomb des piles pour les ponts à plusieurs travées, et sur la culée pour les ponts à

comprenant qu'une seule travée. Le tablier, violemment soulevé au moment de l'explosion, retombe sur la maçonnerie dégradée, et si le choc ne suffit pas pour briser les tôles et les faire descendre entre leurs points d'appui (ponts à une seule arche), du moins le tablier fortement dénivelé et gauchi n'est-il plus en état de donner un passage régulier aux troupes ennemies, et à plus forte raison à un matériel de guerre. La disposition des fourneaux à l'intérieur des piles, jointe à la rupture directe des fers, aurait l'avantage de détruire la pile sur une certaine hauteur, ce qui augmente d'autant la hauteur de chute après l'explosion, et le gauchissement du tablier si le pont n'est pas coupé (pont de la gare de Pontoise, de Billancourt, etc.). C'est principalement lorsque les tabliers sont montés sur piles tubulaires que l'on pourra chercher la chute du pont dans la destruction partielle des piles. Celles-ci, en effet, n'ont souvent de stabilité que par la charge du tablier et le contreventement des tubes qui les composent; la dynamite brisera toujours aisément et renversera les tubes momentanément soulagés après l'explosion du poids des tabliers; l'affaissement total est donc certain (pont d'Argenteuil). Pour les ponts métalliques en arc, il conviendra de chercher à détruire les piles aux culées, au niveau des retombées.

« Pour les passerelles de faible portée et construites en fer mince, il suffira de détruire les poutres de rives par des coups appliqués; les poutres perdent par le gauchissement et le déversement la plus grande partie de leurs forces, et cessent ainsi de pouvoir porter les charges qui, avant l'explosion, ne

leur auraient fait subir que des flèches insensibles. Les bidons seront placés de préférence à l'insertion des entretoises près du tablier, à l'intérieur de la poutre. »

« *Ponts en charpente.* — On s'inspirera, suivant le cas, des dispositions indiquées pour les ponts en pierre et en charpente : le dispositif par fourneau dans les piles et culées devra toujours être préféré. »

Destruction des batteries et bastions.

Dans tous les cas où le travail exige une grande rapidité, on devra préférer l'emploi de la dynamite à celui de la poudre, qui nécessite des fourneaux de mine profonds et un bourrage énergique. Chargé de préparer la destruction d'une batterie à Bondy, en vue de la prise du village, nous avons employé la disposition suivante :

La terre gelée présentait une grande dureté. On dégagea à la hache quelques gabions et on forma plusieurs chambres profondes de 50 centimètres environ qu'on remplit de dynamite. Le bourrage, presque nul, consistait en fragments de bois et de terre. Le travail était fréquemment interrompu par les projectiles que l'ennemi dirigeait sur la batterie qu'il croyait armée de canons. Néanmoins en quelques heures on avait chargé cinq à six fourneaux reliés entre eux par une mèche générale, et prêts à mettre l'ouvrage hors de service au premier signal.

Enlèvement des rails de chemin de fer.

On a fréquemment besoin, dans les opérations de guerre, d'enlever rapidement les rails ainsi que les traverses sous-jacentes.

On obtient rapidement ce résultat au moyen de la dynamite.

Il suffit de disposer contre la gorge du rail deux ou trois cartouches de dynamite renfermant chacune 50 grammes de substance explosive.

Dans les dernières expériences que nous avons faites à ce sujet, un fragment de rail à double champignon, posé à plat sur le sol, a été brisé en trois morceaux par l'explosion d'une seule cartouche placée dans le sens de la longueur du rail : un des fragments a été projeté à une certaine distance. Il est à remarquer, dans ce cas, que les deux champignons, distants de plusieurs centimètres de la cartouche, ont été brisés à peu près au niveau de la bande de fer sur laquelle elle reposait.

On peut aussi, en introduisant sous les traverses quelques centaines de grammes de dynamite, à la jonction des rails, soulever ces derniers en produisant l'arrachement des rivets.

Quant au déraillement des trains à leur passage, on peut le provoquer en disposant sur les rails des boîtes en fer-blanc semblables à celles qu'on emploie pour les signaux en temps de brouillard, et en faisant correspondre ces boîtes avec la dynamite au moyen du cordeau porte-feu instantané.

Essais de brisement des canons au mont Valérien. Décembre 1870.

1° Canons de fonte. Diamètre, 16 centimètres. Charge, 1 kilogramme de dynamite (à 25 pour 100), placée sans bourrage à 30 centimètres de l'extrémité de la bouche. Effet à peu près nul.

2° 3 kilogrammes de dynamite, placés à 60 centimètres de l'extrémité de la bouche, ont encore donné des résultats nuls.

3° Enfin, 2 kilogrammes, mis à 25 centimètres de la bouche, garnie d'un tampon en terre glaise, ont amené la rupture du canon en trois morceaux, suivant les rayures.

Deux fragments pesant environ 60 kilogrammes ont été projetés à 20 mètres environ.

Mont Valérien. Avril 1872. — L'eau étant douée d'une compressibilité presque nulle, la pression exercée sur un point quelconque se répartit également dans toute la masse.

Partant de ce principe, nous avons pensé qu'en remplissant d'eau l'espace laissé vide par la charge de dynamite dans l'âme du canon, on éviterait la déperdition de force occasionnée par l'inégale répartition de l'effet utile développé, dont une partie se trouve absorbée par la compression de l'air.

L'expérience a confirmé nos prévisions.

Premier essai. — Canon de marine se chargeant par la gueule. Diamètre, 16 centimètres; épaisseur à la gueule, 9 centimètres; frettes, épaisseur 6cc,5. Dynamite (à 75 pour 100), 200 grammes placés au milieu de la volée. La pièce fut entièrement remplie

d'eau et bouchée au moyen d'un tampon conique en bois, enfoncé à refus.

La volée entière, y compris les tourillons, fut séparée en trois fragments, suivant les rayures de la pièce.

Les frettes étaient légèrement disjointes, mais avaient peu souffert. Recul de la pièce, 30 centimètres.

L'explosion a eu lieu sans projections, dépassant quelques mètres. L'explosion avait arraché quelques éclats de fonte, d'un faible poids. La même opération, faite sur la culasse avec 500 grammes de dynamite, n'a produit qu'une légère disjonction des frettes. Le bouchon projeté contre les murs du foss a été broyé.

Deuxième essai. — On a placé 1 200 grammes de dynamite dans la culasse d'un canon pareil, à 40 centimètres du fond. Bourrage à l'eau avec bouchon en bois, enfoncé à refus. La volée seule a été brisée en gros éclats. L'un d'eux, sous forme de couronne, représentait l'extrémité de la volée.

Un éclat d'environ 100 kilogrammes a été projeté à 100 mètres.

Les frettes étaient légèrement écartées, mais présentaient encore une résistance considérable; sauf ce fait, le résultat total, au point de vue du brisement, était analogue au premier.

On voit donc qu'en suivant cette méthode on peut avec de faibles quantités de dynamite, mettre hors de service et briser les pièces d'artillerie du plus gros calibre.

On arriverait, nous n'en doutons pas, à rompre les frettes en opposant à la gueule du canon, devant

la culasse, une résistance suffisante, telle qu'un mur épais, une autre pièce de canon placée à terre, ou le sol lui-même en faisant porter sur la terre l'extrémité de la volée.

Les conditions dans lesquelles nous étions placés pour ces expériences ne nous ont pas permis de les pousser plus loin, en raison du danger qu'elles pouvaient présenter.

Chargement des projectiles creux avec la dynamite.

Dans les essais avec la nitroglycérine, les projectiles chargés de ce composé éclataient dans l'âme de la pièce, ce qu'on pouvait supposer à l'avance.

Il n'en est pas de même avec la dynamite faible: néanmoins, la question ne paraît pas encore complétement résolue.

Dans nos expériences à ce sujet, nous avons employé la dynamite à 25 pour 100. Un composé plus puissant, dans les conditions actuelles de l'artillerie, amènerait une division trop considérable des projectiles.

On peut admettre qu'avec les obus chargés de poudre la calotte ellipsoïde est en général brisée en deux ou trois fragments, tandis que le fond reste intact. De telle sorte qu'un poids de fonte considérable, relativement au poids du projectile, reste sans effet utile. Avec la dynamite, au contraire, malgré la différence d'épaisseur des diverses parties, l'éclatement devient beaucoup plus uniforme.

La seule modification à apporter aux obus consisterait dans la disposition, à la partie inférieure de la [illegible]e, d'une amorce au fulminate ou d'un pétard

rempli de poudre, auxquels la fusée communiquerait le feu et dont l'explosion provoquerait celle de la dynamite.

Pour les nouvelles fusées de marine, il serait nécessaire de fixer l'amorce à l'extrémité inférieure du percuteur.

L'emploi d'une dynamite puissante aurait pour résultat de modifier le système de l'artillerie, car il permettrait de changer les rapports qui existent entre le vide intérieur des projectiles et leur poids.

Essais faits au mont Valérien. Novembre 1870. — Canon de fonte. Diamètre, 16 centimètres. Charge, 2 kilogrammes de poudre à canon.

Obus de 12. Poids, 11 kilogrammes. Charge de l'obus, 250 grammes de dynamite, remplissant le tiers du vide intérieur. L'obus était fermé par une fusée vide. Le projectile a pénétré en travers dans un escarpement de glaise-marneuse à une profondeur de $1^m,10$ environ.

La dynamite renfermée dans le projectile n'a éprouvé aucune modification sous l'influence de la chaleur et du choc développés par la combustion de la poudre et par l'arrêt brusque.

Essais de chargement de projectiles creux avec des mélanges de poudre et de dynamite. — 1° Obus de 11 kilogrammes. Charge, 200 grammes de dynamite; poudre à canon, 400 grammes. Eclats, environ 22.

2° Obus pareil. Charge, 300 grammes de dynamite; poudre, 300 grammes. Eclats, environ 32.

Dans tous les cas, ce nombre d'éclats est toujours notablement supérieur à celui que fournirait la poudre seule.

Rupture des arbres (1).

« *Première expérience.* — Un arbre de 28 centimètres de diamètre, en bois blanc, a été foré à son pied, au moyen d'une tarière de 35 centimètres de diamètre, d'un canal horizontal dirigé de la circonférence au centre sur une profondeur de 18 centimètres. Une cartouche contenant 75 grammes de dynamite (à 50 pour 100) a été introduite au fond du trou de tarière et tassée avec un morceau de bois; la partie antérieure du trou de forage a été fermée autour de l'amorce par de la terre grasse, bourrée sur une longueur de 5 centimètres. Le feu mis à l'amorce, l'arbre a été radicalement coupé et des éclats projetés à une vingtaine de pas.

« En considérant la section de rupture, on peut observer que les fibres sont d'autant plus brisées qu'elles se rapprochent davantage du centre de la charge. Il doit donc arriver : 1° qu'à partir d'une certaine limite de grosseur pour une charge donnée, un arbre cessera d'être coupé et que l'explosion n'y développera qu'un entonnoir de fibres brisées (cette conclusion a été vérifiée par l'expérience suivante); 2° qu'il y a avantage à placer la cartouche de façon que son centre se trouve sur l'axe même de l'arbre, ou à employer deux cartouches disposées dans deux forages perpendiculaires, de façon à briser les fibres dans les deux sens.

« *Deuxième expérience.* — Un arbre plus gros a été

(1) Extrait d'un rapport du commandant Houbigant sur des expériences faites avec son concours.

choisi : il avait 43 centimètres de diamètre et était de la même essence que le précédent, on y a fait avec la même tarière un trou de 18 centimètres de profondeur. Une cartouche contenant 85 grammes de dynamite y a été tassée et recouverte autour de l'amorce de 8 centimètres de terre. Le feu a été donné à l'amorce : l'arbre n'a pas été renversé, mais il a été coupé sur la moitié de sa section du côté de la mise à feu.

« Une assez grande quantité d'éclats de bois ont été projetés à 1 ou 2 pas. L'espace occupé dans l'arbre par les fibres brisées semble présenter la forme d'un entonnoir de fourneau de mine surchargée. Il paraît probable que l'on serait arrivé à couper complétement l'arbre avec la même charge, si le trou de sonde eût été plus profond et s'il eût dépassé de quelques centimètres l'axe de l'arbre à abattre. En tout cas, 85 grammes sont très-certainement une limite inférieure de la quantité de dynamite à employer pour renverser des arbres de l'essence et de l'équarrissage indiqués.

« *Troisième expérience.*— L'emploi de la tarière et le bourrage exigeant un certain temps, ce procédé de rupture des arbres paraît peu pratique en présence de l'ennemi. Il a l'avantage de donner la moindre dépense possible de la dynamite pour produire le résultat recherché, mais cette considération doit le céder parfois à celle de la rapidité d'exécution. Dans cet ordre d'idées une troisième expérience a été faite dans les conditions suivantes : un arbre de 34 centimètres de diamètre a été entouré d'un saucisson en toile, contenant $1^{k},750$ de dynamite répartie

sur toute sa longueur : une amorce a été adaptée à ce saucisson et le feu y a été donné ; l'arbre a été radicalement coupé sans projection d'éclats ; il paraît avoir été soulevé, projeté à 2 pas du côté opposé à l'amorce avant son renversement.

« La partie inférieure du tronc restée dans le sol est exactement celle qui était au-dessous du saucisson. Elle a été fortement penchée du côté opposé à l'amorce. Il paraît très-probable que la charge de dynamite aurait pu être sensiblement moindre sans cesser de produire le renversement de l'arbre. »

Autres essais de rupture des arbres. — Ces essais ont porté sur des tilleuls d'un diamètre de 35 à 40 centimètres. On pratiquait, perpendiculairement à l'axe, deux trous de tarière disposés à angle droit et se rejoignant au centre. Chaque cavité recevait 100 grammes de dynamite à 25 pour 100, soit en tout 50 grammes de nitroglycérine.

Le secteur formé par les mines était littéralement haché. La même expérience, pratiquée à l'aide d'un seul trou renfermant 250 grammes de dynamite, soit 62 grammes de nitroglycérine, n'amenait pas la chute de l'arbre, mais produisait une série de fentes longitudinales.

Tronc d'acacia. — Hauteur, $1^m,30$; diamètre, 22 centimètres. Trou de tarière de 17 centimètres, pratiqué à 1 mètre de la section. Dynamite, 40 grammes ; fendillement peu prononcé et agrandissement notable du trou.

Avec une charge de 90 grammes, le fendillement a atteint la partie supérieure. Intérieur du tronc haché, réduit en filaments :

« 1° Un sapin de 85 centimètres de diamètre est :ouré à 1 mètre au-dessus du sol d'un saucisson dynamite à 50 pour 100 de 2k,200. Le tronc est ıpé avec apparence de cisaillement, et l'arbre est ılevé verticalement et retombé sur le sol ;

« 2° Deux trous horizontaux inclinés à 45 degrés n sur l'autre et se rencontrant au centre sont pra- ués à la tarière dans un tronc de peuplier de centimètres de diamètre. 580 grammes de dyna- te sont introduits dans les trous. Lors de l'explosion rbre est resté quelques secondes debout, puis est nbé lentement dans la direction opposée à la bis- ıtrice de l'angle des deux trous. Le secteur com- is entre ces derniers était comme cisaillé et recou- rt de débris de bois hachés en menus morceaux. ıns cette seconde disposition, l'arbre tombe toujours côté opposé au secteur (1). »

On conçoit les avantages qui résultent de ce mode ɔmploi. Il peut être nécessaire d'abattre rapidement, ın moment déterminé, une série de gros arbres qui rvent à masquer une batterie ou un ouvrage d'art. Il suffirait donc de préparer les mines comme il t dit plus haut, en proportionnant les charges de ynamite aux diamètres des arbres.

Essai de tranchée dans les terres gelées.

Il est parfois nécessaire de pratiquer des tranchées ıns des terres profondément gelées. Dans ce cas le

(1) *Bulletin des officiers*. Compte rendu des expériences faites r la dynamite, par M. P. Champion, à l'École d'application du nie et de l'artillerie.

sol peut présenter une dureté presque égale à celle de la pierre, et faire feu sous l'action du pic. Outre que dans ces conditions les ouvriers se fatiguent rapidement, le travail est lent et peu en rapport avec les nécessités de la guerre.

Les essais qui suivent ont été faits sur une terre de maraîcher, remplie de fumier, dont la dureté ne peut être comparée à celle du sol ordinaire. On peut donc admettre que les résultats que nous avons obtenus sont de beaucoup inférieurs à ceux qu'aurait fournis l'exploitation d'un terrain gelé à l'état normal. De plus, les mines peuvent toujours être forées perpendiculairement au sol, ce qui diminue la main-d'œuvre, et accroît les résultats des coups de mine.

Trois hommes chargés de l'emploi de la dynamite ont percé 8 trous de tarière de 40 centimètres de profondeur, inclinés à 45 degrés environ. Les trous étaient chargés de 100 grammes de dynamite à 60 pour 100.

Temps passé à cette opération, 25 minutes.

Enlèvement des déblais provenant de l'explosion par 8 sapeurs (4 pelles, 4 pioches), 25 minutes.

L'excavation produite mesurait : longueur, $3^{m},25$; largeur, 92 centimètres; profondeur, 45 centimètres, soit $1^{mc},345$.

Pendant les 25 minutes employées au forage, 8 autres sapeurs ont pratiqué une tranchée mesurant : longueur, $2^{m},90$; largeur, 67 centimètres; profondeur, 35 centimètres, soit 80 décimètres cubes.

Pendant le reste du temps employé au déblai, soit 25 minutes, les 8 sapeurs ont poussé la tranchée aux dimensions suivantes :

Longueur, $3^{m},15$; largeur, 70 centimètres ; profondeur, 52 centimètres; soit $1^{mc},146$.

En résumé, 11 sapeurs, dont 3 chargés de l'emploi de la dynamite, ont produit plus que 16 hommes travaillant par les moyens ordinaires. Soit : économie du temps, 30 pour 100 environ ; déblai en plus, 15 pour 100.

Dans des expériences analogues faites sur des tranchées en avant du parc de Drancy, dans un terrain gelé à 50 centimètres de profondeur, chaque coup de mine détachait des blocs de terre d'un demi à 1 mètre cube.

Une fois qu'on a dépassé la couche de terre gelée, on doit cesser l'emploi de la dynamite dont l'action deviendrait presque nulle.

On pourrait aussi aux considérations économiques qui précèdent ajouter l'usure des pics et autres instruments employés à ces travaux, usure qui représente une dépense assez considérable.

Cette méthode est aussi applicable à des travaux quelconques de déblai ou de terrassement dans les terrains gelés.

Fusées volantes.

Les fusées volantes renfermant des matières inflammables et destinées à propager au loin l'incendie, sont d'un usage fort ancien à la guerre. Mais ce genre de projectiles présente de graves inconvénients. Armés d'une longue baguette qui leur sert de directrice, ils offrent une grande surface à l'action du vent, qui rend leur tir fort irrégulier.

Néanmoins, à des distances de 2 à 300 mètres, le tir rectifié après un essai peut, ainsi que nous l'avons constaté, devenir assez juste pour rendre des services signalés.

M. Marin, artificier, a proposé l'emploi de fusées volantes munies d'un projectile de fonte, chargé de dynamite, pour déloger l'ennemi retranché derrière des barricades ou des murs. Elles se composent de fusées ordinaires à directrice, surmontées d'un chapeau conique en fonte rempli de dynamite. Ce chapeau est fermé par une rondelle en bois, percée d'un trou par lequel on fait passer la mèche amorcée qui communique avec l'extrémité supérieure de la fusée. Le poids de ce chapeau est de 250 grammes pour une fusée de 30 millimètres.

Il peut renfermer de 25 à 40 grammes de dynamite, suivant le tassement, et donner de 50 à 100 éclats.

On pourrait employer au même usage les fusées Withworth, dans lesquelles la directrice est remplacée par une hélice, fixée sur la fusée elle-même.

L'angle de tir qui produit la trajectoire la plus longue nous a paru être de 42 à 45 degrés avec les fusées que nous avons décrites précédemment.

Fougasses.

Les fougasses consistent dans un amas de pierres placées dans des cavités profondes creusées dans la terre, à la partie inférieure desquelles on dispose des tonneaux de poudre. Les parois de la fougasse rencontrent le sol sous un angle de 35 degrés environ.

A la partie inférieure, elles sont verticales sur une certaine hauteur, et forment une chambre destinée à contenir la poudre.

Lorsque la terre offre peu de résistance, on garnit les parois de la chambre avec des madriers qui, en faisant obstacle à l'effet de la poudre, l'empêchent d'agir sur la terre, et préviennent une notable déperdition de force.

On recouvre les tonneaux d'un tablier en bois incliné à 45 degrés, et que l'on charge de pierres, gravas, débris de roches, en plaçant les projectiles les plus gros à la partie inférieure. On termine le remplissage avec de la terre.

La poudre doit être enfermée dans des tonneaux goudronnés, ou dans des récipients métalliques étanches, pour la mettre à l'abri de l'action de l'humidité.

Lorsque l'explosion a lieu, la charge de pierres se trouve projetée dans le sens du plan incliné.

La dynamite pourrait sans doute être substituée avec avantage à la poudre ; elle peut, en effet, comme cette dernière, communiquer aux projectiles une force et une vitesse considérables. Un grand nombre d'essais en a fourni la preuve, bien que le contraire ait été souvent admis.

Néanmoins l'expérience seule permettra d'établir quelles sont les proportions de dynamite que l'on devra employer pour obtenir des effets équivalents à ceux de la poudre. La dynamite produit sur place une partie de son effet utile, et il est impossible de déterminer d'avance l'importance de la force qui se trouve développée ainsi en pure perte.

Dans tous les cas, il est évident qu'avec la dynamite on réduira les dimensions de la chambre d'explosion. On devra aussi n'employer à cet usage que de la dynamite faible et occupant par conséquent un grand volume : on diminuera ainsi la force brisante en augmentant la force de projection.

APPENDICE

TORPILLES (1).

Historique.

L'emploi des torpilles proprement dites fut pré-cédé de celui de bateaux ou chalands chargés de poudre et de débris de fonte, qu'on lançait contre les navires ennemis ou contre les ports dont on voulait se rendre maître.

Les torpilles mobiles et flottantes furent proposées par Crescento en 1607, dans sa *Nautica Mediterranea*, et par le Hollandais Cornelius van Drebbel d'Alemaër, en 1624.

En 1628, les Anglais employèrent pour la première fois des torpilles flottantes au siége de la Rochelle. Ces engins étaient formés de boîtes remplies de poudre et munies d'un ressort frappant sur une pierre à fusil. Le tout était disposé de telle sorte que la rencontre du flanc du navire pressait le ressort et produisait l'explosion de l'appareil.

Pendant les guerres de la Révolution, Fulton s'occupa activement des torpilles et de leur vulgarisation; il reprit les essais de Bushnell, faits en 1777, et vint en France en 1796. Mal accueilli, il passa en Angle-

(1) Une grande partie des documents qui suivent sont dus à l'obligeance d'un de nos collègues.

terre où ses expériences furent couronnées de succès. Quelques années plus tard il retourna en Amérique, où il fit sauter un brick dans la baie de l'Hudson et publia en 1810 un traité sur les torpilles (*Torpedo war and submarine explosion*).

Sous la Restauration, M. de Montgéry, officier de la marine, tenta de faire sortir les torpilles de l'oubli dans lequel elles étaient tombées, et indiqua divers perfectionnements qui se sont réalisés de nos jours.

En 1855 les Russes firent usage de ces engins dans la Baltique.

Le mode d'inflammation consistait dans des petits tubes de verre remplis d'acide sulfurique, qui se brisaient par le choc des navires et déversaient leur contenu sur un mélange de chlorate de potasse et de sucre; ce dernier s'enflammait et mettait le feu à la poudre. On attribue à tort ce mode d'inflammation à Jacobi. Il était connu dès 1807 et est indiqué dans les *Annales des faits et sciences militaires* (15e cahier, mars 1819).

Franklin et Priestley avaient signalé l'électricité comme devant servir à l'inflammation des torpilles. Les premières applications en furent faites par des ingénieurs français vers 1840. Leur procédé était fondé sur la propriété que possède un fil fin de platine de s'échauffer sous l'influence d'un courant électrique par la résistance qu'il oppose au passage du courant.

En 1859, le colonel von Ebner imagina une disposition ingénieuse qui fut employée pour la défense de Venise.

On disposa en face de l'entrée du port une chambre obscure de grande dimension. Par réflexion,

l'image entière du port se reproduisait sur une table spéciale.

Les torpilles, renfermant 400 livres de coton-poudre, étaient placées à 25 mètres l'une de l'autre. Des fils électriques, munis de numéros, aboutissaient à la tablette, sur laquelle on avait marqué les points où ces torpilles étaient mouillées.

Aussitôt qu'un navire ennemi entrait dans le cercle d'action d'un de ces engins, on établissait le courant et l'explosion avait lieu.

Les torpilles du colonel Ebner étaient munies, en outre, d'appareils automoteurs électromagnétiques dont la construction est délicate et dont l'emploi est dangereux (1).

Pendant la guerre des Etats-Unis, les confédérés firent usage avec succès des torpilles et prolongèrent de trois mois la lutte engagée avec un ennemi supérieur.

Plus de 25 navires fédéraux furent détruits ou mis hors d'état.

Au Paraguay, les torpilles jouèrent un rôle important. Le cuirassé *Rio-de-Janeiro* fut coulé devant Curuzu et la flotte brésilienne demeura une année au-dessous de Curupaïty, arrêtée par les torpilles paraguayennes. Elle ne put passer que grâce à une crue extraordinaire du fleuve.

Dans la dernière guerre, les Prussiens renonçant

(1) Dans le cas de l'emploi de l'électricité, on pourrait entourer les torpilles de bouées ou flotteurs quelconques renfermant un appareil électrique mis en communication avec une sonnette et annonçant la présence des navires dans le cercle d'action des torpilles.

à une lutte maritime. s'enfermèrent dans leurs ports par une ligne de torpilles dans les passes de Kiel, de l'Elbe et de Jahde.

Notions techniques sur les torpilles.

Dans une torpille il y a lieu de considérer :
1° L'espèce de la torpille;
2° La forme et la matière de l'enveloppe;
3° La matière et le poids de la charge;
4° Le mode d'inflammation.

1° *Différentes espèces de torpilles.* — On appelle *torpilles dormantes* celles qui reposent sur le fond;

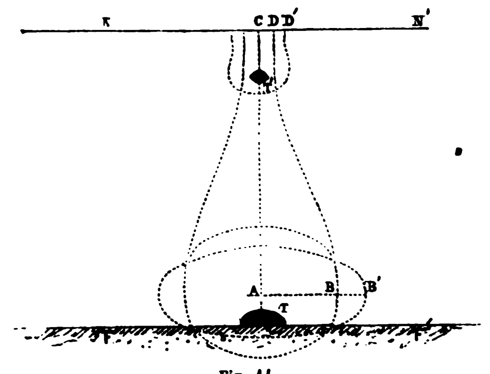


Fig. 14.

torpilles flottantes, celles qui sont tenues immergées à une faible distance de la surface.

Soit T une torpille dormante (fig. 14). Lorsqu'elle éclate, on peut admettre que les gaz se développent dans tous les sens et tendent à former une sphère. Si

le fond est mou, il cède et il y a affouillement. Si le fond est trop dur pour être entamé, le volume gazeux s'élargit davantage et l'effet latéral de la torpille au départ est plus grand. Puis les gaz se précipitent vers la surface suivant la ligne de moindre pression, en chassant devant eux la masse liquide qui les surmonte. Diminuée à chaque instant de sa course par le refroidissement des gaz et leur solution dans l'eau, la colonne gazeuse arrivant à la surface n'a plus qu'un rayon CD, d'autant plus petit que la profondeur d'immersion de la torpille était plus grande. CD est le *rayon d'action de la torpille*.

Il est évident qu'à la limite, lorsque la profondeur d'immersion est trop grande, le rayon d'action devient nul. Dans ce dernier cas d'ailleurs, les gaz arriveraient sans vitesse à la surface.

Les causes de diminution d'action de la torpille T n'agissent pas, ou du moins auront fort peu d'influence sur la torpille flottante T', beaucoup plus petite que T, mais maintenue près de la surface, et son rayon d'action CD' sera beaucoup plus grand. D'autre part, les gaz produits par T' seront animés d'une vitesse bien supérieure à celle des gaz de T, et à volume égal produiront des effets plus considérables.

A moins d'augmenter au delà de toute mesure les charges des *torpilles dormantes*, on ne peut les employer que dans les endroits où la profondeur de l'eau est inférieure à 40 mètres environ. Au delà de cette profondeur, il faudra employer des *torpilles flottantes* munies de systèmes d'inflammation automatique (électriques ou autres), lesquelles éclatant

au contact de la carène du bâtiment ennemi, produiront un maximum d'effet.

Les *torpilles dormantes* enflammées par l'électricité furent peu employées par les confédérés des Etats du Sud, à cause du manque de fils conducteurs. Lors de la première attaque du fort Sumter, la frégate cuirassée *New-Ironsides* resta une heure entière au-dessus d'une de ces torpilles et fut sauvée par un défaut du câble. Cependant, le 6 mai 1865, la canonnière fédérale le *Commodore Jones* fut détruite entièrement dans le James-river par une torpille électrique contenant 900 kilogrammes de poudre. Cette torpille avait été mise à l'eau pendant l'automne précédent. Des cent cinquante hommes qui montaient le *Commodore Jones*, trois seulement furent sauvés. On remarqua que tous les cadavres avaient la colonne vertébrale brisée.

On doit considérer comme des torpilles dormantes les torpilles à châssis ou de châssis (*frame torpedoes*) qui armaient le front des estacades et barrages disposés dans les parties peu profondes des baies de Charleston, Savannah et Mobile. Les « Frame Torpedoes » avaient des appareils d'inflammation automatiques, et on leur attribue la perte du monitor *Montauk*, des transports *Maple-Leaf* et *Harrict-Weed.*

Les confédérés firent un grand usage des torpilles flottantes : *fixes*, on les disposait en lignes parallèles ou en quinconces à travers des passes ou à l'embouchure des rivières; *mobiles*, on les abandonnait, accouplées ou en chapelet, au courant qui devait les porter sur l'ennemi.

Ce dernier moyen fut peu efficace. Le plus souvent

ces torpilles étaient découvertes et détournées à temps; ou bien elles venaient s'arrêter sur les filets à torpilles (torpedo nets) installés autour des bâtiments fédéraux.

On peut rattacher aux torpilles mobiles celles qui sont pourvues d'un appareil mécanique leur permettant de franchir une certaine distance pour aller éclater sous la carène de l'ennemi. Les moteurs proposés jusqu'ici ont été le plus souvent des mouvements d'horlogerie, des machines à gaz comprimé ou des appareils à fusée. Dès 1825, M. de Montgéry proposait de construire des navires à batteries de fusées sous-marines, et donnait dans les *Annales maritimes* (1) le plan complet des dispositions à adopter. Ses idées ont été reprises dans les temps modernes par différents inventeurs. M. le capitaine de vaisseau autrichien de Luppis fit à Fiume, à Pola et en Angleterre des expériences avec une torpille automotrice à air comprimé, qui a pu parcourir « en eau calme » 150 mètres en ligne droite. Dans une mer un peu houleuse les résultats auraient été sans doute tout différents.

Le problème sera bien simplifié lorsqu'on aura constaté qu'une petite quantité d'une poudre comme la dynamite, éclatant à la surface de l'eau, à la flottaison d'un navire cuirassé du plus fort tonnage, suffit pour pratiquer une brèche irréparable. On n'aura plus à vaincre l'impossibilité de maintenir un corps immergé, de poids variable, en mouvement, à une distance constante de la surface. La torpille mo-

(1) 1825, partie non officielle, t. II, p. 707, 711.

bile deviendra un objet naviguant dont la direction pourra être facilement assurée.

Comme leur nom l'indique, les *torpilles portatives* sont celles qu'on place au bout d'une perche ou d'une tige métallique, à l'avant d'une embarcation à rames ou à vapeur, ou d'un navire sous-marin, pour les porter sous la carène d'un bâtiment ennemi.

Ce genre de torpilles fut mis en usage à la fin de la guerre par les confédérés, qui tentèrent avec ce moyen des attaques sur le *New-Ironsides*, le *Minnesota* et réussirent à faire sauter le *Housatonic* De leur côté les fédéraux n'étaient pas restés inactifs, et le lieutenant Cushing, remontant la rivière Roanoke jusqu'à 8 milles de son embouchure avec un canot à vapeur armé d'une torpille, coula le cuirassé confédéré *Albemarle*, amarré à un wharf le long des quais de Plymouth.

Plusieurs nations possèdent en ce moment des bâtiments porte-torpilles. Il n'est pas douteux que l'usage s'en généralisera, et le jour viendra peut-être où tout navire de guerre sera pourvu d'appareils propres à porter ou à lancer des torpilles.

Quant aux navires sous-marins, ils n'entreront pas de longtemps dans le domaine de la pratique. A leur histoire se rattache un fait héroïque trop remarquable pour que nous ne le racontions pas ici.

En 1863 on avait construit à Mobile un navire sous-marin en tôle, destiné à porter des torpilles. Long de près de 11 mètres, ce bâtiment devait renfermer neuf hommes d'équipage; huit d'entre eux faisant mouvoir à bras une hélice pouvant imprimer une vitesse de quatre nœuds, et le neuvième réglant

la course et les mouvements de montée et de descente du bateau. La provision d'air était calculée pour qu'on pût rester vingt-cinq à trente minutes sous l'eau.

Le bateau arriva à Charleston. Peu de temps après le lieutenant Payne de la marine confédérée, et huit hommes s'y embarquèrent pour aller attaquer la flotte fédérale. Comme ils allaient partir pour leur expédition, le remous d'un steamer qui passait fit remplir le bateau qui coula. Tout l'équipage fut noyé, à l'exception du lieutenant Payne, qui au moment de l'accident, se trouva heureusement à l'ouverture du panneau.

Ayant été relevé et réparé, le bateau repartit avec un nouvel équipage toujours sous le commandement du lieutenant Payne. Arrivés près du fort Sumter, ils chavirèrent et coulèrent. Six hommes se noyèrent; deux autres se sauvèrent avec le lieutenant Payne, qui déclara qu'en ce qui le concernait l'expérience lui semblait suffisamment concluante.

Cependant M. Aunley, l'un des constructeurs, avait à cœur de démontrer l'excellence de son invention.

Il trouva huit hommes qui voulurent bien partir avec lui pour un voyage d'essai dans la rivière Cooper.

Le bateau descendit et pour une cause inconnue ne remonta pas. Tout l'équipage fut encore noyé.

Enfin, le bateau ayant été retrouvé et réparé, le lieutenant Dixon du 21e régiment confédéré, s'y embarqua avec huit hommes de bonne volonté, et ils allèrent attaquer et détruire devant Charleston la corvette fédérale *Housatonic*. La mission étant ac-

complie, le vaillant petit navire ne parut plus. Il avait coulé avec son ennemi.

2° *Forme et matière de l'enveloppe.* — Pour les torpilles dormantes, mobiles et portatives, la question de forme est généralement peu importante. Les torpilles flottantes ne doivent pas produire, par leur résistance aux courants, de remous pouvant déceler leur présence.

Ces torpilles, adoptées en dernier lieu par les confédérés, satisfaisaient assez bien à cette condition. Elles étaient formées d'un baril en chêne, aux bases duquel on appliquait des cônes en sapin.

Toutes les matières explosives dont on s'est servi jusqu'ici doivent être protégées par des enveloppes parfaitement étanches.

Le choix de cette enveloppe n'est pas indifférent. Si on fait usage d'une de ces poudres *lentes* dont la poudre ordinaire est le type le plus répandu, il faut l'enfermer dans un récipient à parois très-résistantes, autrement les premiers gaz formés déchirent l'enveloppe, et une grande partie de la charge est noyée en pure perte. Des parois en fonte de 6 centimètres d'épaisseur ne sont pas suffisantes pour assurer la combustion complète d'une charge de 200 kilogrammes de poudre ordinaire ; après l'explosion, la mer, à la surface, est noire de poudre, et l'expérience a prouvé qu'en multipliant les points d'inflammation on ne parvenait pas à modifier ce fâcheux résultat. Le seul remède est d'augmenter considérablement l'épaisseur de l'enveloppe, et on arrive ainsi à des masses qui pèsent plusieurs milliers de kilogrammes. Peut-être corrigerait-on cet inconvénient en employant

pour charger les torpilles dormantes des poudres analogues à la poudre prismatique russe.

Avec ces poudres on obtient l'inflammation instantanée de chaque grain ; les gaz se produisent graduellement, sans choc, pour ainsi dire. On peut croire qu'avec ce mode de formation de gaz, une enveloppe en fonte mince résisterait assez longtemps pour donner à toute la charge le temps de brûler.

Avec les poudres *vives*, comme la dynamite, dont la décomposition est immédiate, la plus mince enveloppe suffit ; la seule condition qu'elle ait à remplir est d'être capable de résister à la pression de l'eau qui l'entoure.

3° *Nature et poids de charge.* — Il est universellement admis que toutes les fois que la torpille est destinée à éclater au contact de l'objet à détruire, comme c'est le cas pour les torpilles flottantes automatiques, mobiles et portatives, la poudre la plus brisante est celle qui doit être adoptée.

Si les confédérés et les Paraguayens n'ont fait usage que de poudre ordinaire, c'est qu'ils n'en avaient pas d'autre.

Parmi les explosifs proposés, en Europe, dans ces dernières années, les plus sérieux sont les poudres au picrate de Fontaine et de Designolle, la poudre Horsley (3 parties en poids de chlorate de potasse et 1 de noix de galle pulvérisée), le coton-poudre comprimé d'Abel et enfin la dynamite.

Les poudres au picrate et la poudre Horsley sont très-puissantes, si on les compare à la poudre, mais leurs effets sont bien loin d'égaler les effets foudroyants du coton-poudre comprimé et de la dyna-

mite. Ces deux agents paraissent égaux en puissance, et l'on pourrait employer indifféremment l'un ou l'autre si le coton-poudre comprimé ne possédait aussi bien que le coton-poudre ordinaire de graves inconvénients.

Lorsqu'en 1846 Schœnbein découvrit le coton-poudre, on crut pendant quelque temps que la nouvelle poudre, dont les effets à cette époque semblaient prodigieux, allait remplacer toutes les autres. Mais à peine avait on commencé à la fabriquer en grand, que de terribles accidents vinrent révéler ses dangereuses propriétés, et forcèrent à en abandonner l'usage. En France, il y eut au Bouchet une explosion en 1847, deux explosions en 1848. En Angleterre l'usine de M. M. Hall, à Faverham, fut détruite. Le baron Lenk ayant inventé des procédés qui semblaient devoir fournir un coton poudre absolument stable, le gouvernement autrichien mit à sa disposition de vastes ateliers dans lesquels on poussa avec activité la fabrication, car on ne parlait de rien moins que de transformer toute l'artillerie autrichienne pour n'avoir plus que des canons à coton-poudre.

En 1862, la première grande explosion eut lieu : le coton-poudre était déposé dans un magasin sur le Semmeringer Haïd, grande plaine à peu de distance de Vienne. 1 400 kilogrammes de coton-poudre firent explosion, et le magasin fut entièrement détruit. L'enquête longue et minutieuse qui fut faite ne put faire découvrir d'autre cause d'explosion que la détonation spontanée.

Beaucoup d'officiers persistant à croire qu'on pourrait encore employer le coton-poudre du baron

Lenk, on en continua la fabrication. Seulement on éloigna les ateliers de Vienne, et on les transporta à Neustadt. Là, on produisit du coton-poudre jusqu'au 25 novembre 1865. Ce jour là 33600 kilogrammes de coton-poudre renfermés dans les magasins sur la Steinfeld firent explosion. Une nouvelle enquête eut lieu, et ne put découvrir d'autre cause que la malheureuse disposition que semble présenter le coton-poudre à détoner spontanément.

Le gouvernement autrichien se décida alors à interdire dans son armée tout usage de cette dangereuse substance. A cette époque, M. Abel, chimiste militaire de la reine d'Angleterre, trouva que le coton-poudre réduit en pâte, comprimé, et détonant sous l'action d'un fulminate, était un explosif puissant, peu coûteux, et facile à manier. Il vendit son brevet à MM. Prentiss, qui montèrent aussitôt une usine à Stowmarket. Comme les anciennes préventions contre le coton-poudre n'avaient pas tout à fait disparu, M. Abel publia une série de travaux pour prouver qu'on pouvait obtenir, à l'aide de ses procédés, un produit exempt de dangers.

Néanmoins, le 11 août 1871, deux épouvantables explosions anéantissaient l'usine de MM. Prentiss et toutes les constructions voisines. L'enquête déclara 1° que le coton-poudre comprimé de M. Abel ne pouvait détoner *lorsqu'il était parfaitement préparé*; 2° que l'accident de Stowmarket devait être attribué à la malveillance. Jusqu'à ce qu'il soit démontré que le coton-poudre comprimé ne peut se décomposer spontanément dans les circonstances ordinaires, la dynamite reste maîtresse de la situation. Dans ce cas

même, le peu d'inflammabilité de la dynamite comparée à celle de la poudre-coton comprimée devra la faire préférer.

Nous avons dit que les poudres brisantes devaient être employées toutes les fois que la torpille était destinée à éclater *au contact*, ou très-près de l'objet à détruire. Nous n'affirmerons pas qu'il en soit ainsi lorsque la torpille devra agir *à distance*.

Les lois des effets des torpilles sont encore peu connues. Peut-être, lorsqu'une poudre brisante détone, les gaz se produisent-ils d'une manière tellement instantanée, que l'eau environnante n'a pas le temps de se déplacer, et ne peut acquérir une vitesse suffisante pour aller faire *marteau* et défoncer les obstacles.

Nous avons cru devoir reproduire cette hypothèse, fréquemment mise en question, mais elle ne paraît pas d'accord avec nos expériences personnelles.

Dans de nombreux essais sous l'eau, des cartouches de dynamite à 75 pour 100, du poids de 50 grammes, et placées à plusieurs mètres de la rive, produisaient par leur explosion un choc assez violent pour communiquer à la terre une commotion très-appréciable, et pour tuer des poissons éloignés de 5 mètres environ du lieu de l'explosion.

Il y aurait lieu de faire des expériences pour comparer les effets à distance des deux variétés d'explosifs, et on pourrait dans ce but employer l'appareil suivant : Un ballon en caoutchouc *c* (fig 15), rempli d'eau et immergé s'appuierait sur un massif en bois *ad* auquel il serait fixé. On isolerait ainsi une partie de la masse liquide. Un tube vertical B montant jusqu'à la surface serait muni d'une soupape permettant à l'eau

de sortir du ballon, mais l'empêchant de rentrer. Les quantités d'eau sortant du ballon à chaque explosion seraient proportionnelles aux effets latéraux des torpilles. En faisant varier les poudres, leurs quantités, les distances et les positions des charges, on arriverait probablement à des notions plus certaines que celles que nous possédons aujourd'hui.

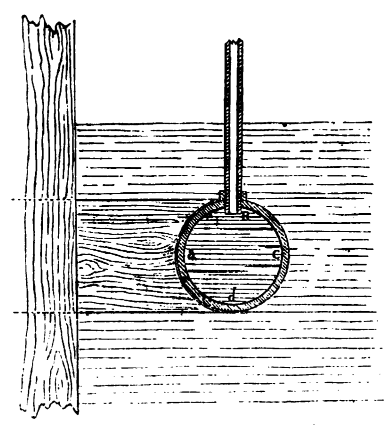


Fig. 15.

Dans cette disposition il serait important que le tube eût une large section pour que, sous l'influence de la pression rapide exercée par l'explosion, l'eau puisse s'échapper hors du récipient.

On pourrait aussi mesurer les effets de l'explosion des poudres sous l'eau, au moyen de l'appareil imaginé par le colonel de Reffye, et destiné à étudier les pressions déterminées dans les canons sur les par-

cours des projectiles, par l'explosion de la charge.

Cet appareil (fig. 16) se compose d'un cylindre creux en bronze M, que l'on peut fixer au moyen d'une vis dans la paroi taraudée des canons.

B. piston en acier.

C C. Rondelle de caoutchouc, servant de fermeture au moment de l'explosion.

A. Piston en acier, dont la tête repose sur le cylindre de plomb D.

O. Cavité tronconique dans laquelle le plomb est refoulé sous l'influence de la pression.

G F. Canal permettant la sortie des gaz.

E. Vis de pression pour serrage des pièces intérieures. La pénétration du cylindre de plomb sous l'influence de l'explosion sert à apprécier l'effort développé, qu'on peut calculer en produisant la même déformation à l'aide d'un mouton, dont on fera varier le poids et la hauteur de chute. Pour l'application précédente, on pourrait augmenter la sensibilité de cet instrument : 1° en donnant une plus large surface au piston B; 2° en diminuant le rapport entre la section de la cavité O et le cylindre de plomb.

On obtiendra évidemment le maximum de sensibilité en donnant à la base de la cavité tronconique O un diamètre égal à celui de l'obturateur D.

Fig. 16.

4° *Mode d'inflammation.* — *L'amorce est l'âme de la torpille*, a dit Maury.

Toutes les fois qu'on veut contrôler l'inflammation de manière à ce qu'elle se produise à un moment donné, on doit employer l'électricité. L'appareil d'inflammation varie suivant le genre d'amorce employé. Les amorces de Stateham, de Gaiffe, de Beardslea s'enflamment au moyen de l'étincelle produite par la décharge électrique ou par le courant de fortes bobines d'induction, telle que celle de Ruhmkorff. L'amorce d'Abel détone par l'effet des appareils électromagnétiques de Bréguet, Marcus, etc. Enfin l'amorce au fil de platine qui rougit par le passage du courant d'une forte pile (1).

Comme il peut arriver souvent qu'on n'ait à sa disposition ni les amorces, ni les fils isolés, ni les appareils chimiques et physiques nécessaires pour employer ces procédés perfectionnés d'inflammation, il n'est pas inutile de connaître quelques moyens plus élémentaires qui, le plus souvent, seront suffisants.

Les grands maîtres en ce genre sont encore les confédérés du Sud qui, séparés du reste du monde par un blocus infranchissable, ont été obligés de se suffire, et sont arrivés à des résultats importants avec des moyens d'une grande simplicité.

Le Prussien von Scheliha, qui servait dans les armées du Sud en qualité de lieutenant-colonel du génie et était attaché au service de la défense des côtes, a publié à Londres en 1868 un remarquable

(1) Voir le chapitre *Électricité*.

ouvrage (1) auquel nous empruntons la classification et la description des principaux systèmes d'inflammation employés par les confédérés.

(*a*) *Inflammation par une mèche :* La mèche Bickford et d'autres compositions du même genre brûlent parfaitement dans l'eau lorsqu'elles ne sont pas immergées à une trop grande profondeur. Ce moyen est néanmoins trop lent et trop incertain pour qu'on l'adopte dans les applications militaires.

(*b*) *Inflammation au moyen d'un rugueux* (fig. 17) : On prend une étoupille à canon, c'est-à-dire un tube AB, en plume d'oie ou en cuivre mince, rempli de poudre et enveloppant un second tube CD, garni de fulminate de mercure et traversé par un rugueux en cuivre rouge.

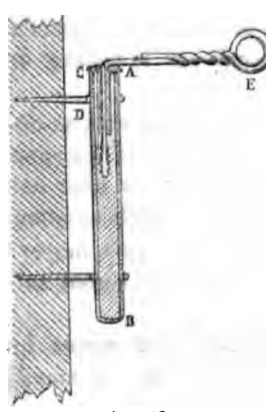


Fig. 17.

Dans la boucle E du rugueux on fixe un fil métallique, qui sort de la torpille par une ouverture qu'on rend étanche avec un mélange de cire jaune et de suif (gutta, etc.). L'étoupille étant fixée dans la torpille d'une manière quelconque, on n'aura qu'à agir sur un cordeau attaché au fil métallique pour produire l'explosion.

(1) *A Treatise on Coast-Defense*, by von Scheliha, lieutenant-colonel and chief-engineer of the département of the gulf of Mexico, of the army of the late confederate states of America. n, 1868.

Ces torpilles, si simples et si faciles à construire, furent très-employées par les confédérés, qui les disposaient en forme de barrages à l'entrée des rivières. Des cordes allaient d'une amorce à l'autre, de sorte qu'un bâtiment rencontrant l'obstacle faisait éclater une torpille sur chacun de ses flancs.

Souvent aussi ces torpilles étaient isolées et on les faisait partir du rivage. Le cuirassé *Cairo*, les vapeurs *Otsego* et *Bazley* furent coulés de cette façon.

Voici d'ailleurs la description d'une de ces torpilles, donnée par un officier de la marine américaine :

« A bord du vapeur des Etats-Unis le *Makheto-Bussa*, le 18 mai 1864.

« En obéissance à vos ordres, j'ai l'honneur de vous rendre compte des expériences que j'ai faites sur les torpilles prises aux rebelles dans la rivière Rappahannock.

« La torpille est un cylindre en fer-blanc, surmonté d'un cylindre plus petit et percé de trois ouvertures. Une au fond et une sur le côté servent à introduire la charge; elles sont ensuite fermées avec un bouchon en gutta-percha, sur lequel on coule un mélange de cire jaune et de suif.

« L'autre ouverture est au sommet et permet de placer l'amorce, qui est une étoupille à friction. Trois fils métalliques soudés aux parois du cylindre maintiennent l'amorce au centre de la charge. Un fil métallique fixé à la boucle de l'étoupille vient à l'extérieur en passant par l'ouverture supérieure, qu'on rend étanche en coulant sur le bouchon que traverse le fil le même mélange de cire jaune et de suif.

« Pour transporter sans danger ces appareils, on

place sur le petit cylindre un couvercle en fer-blan qu'on ne retire qu'au moment de mouiller la torpille. On attache alors à la partie inférieure du fi métallique une ligne dont on porte le bout à terre

« Ces torpilles sont chargées de 50 livres de poudr fine.

« Après m'être bien rendu compte de leur construction, j'en ai fait partir une de la manière suivante

« Ayant passé dans les deux poignées qui sont su les côtés du cylindre une corde tenant un poids destiné à faire couler la torpille, je me transportai a milieu du chenal. De là je fis porter le bout de ligne à terre, puis ayant enlevé avec précaution le couvercle en fer-blanc, je mouillai la torpille par u fond de trois brasses. Etant revenu à terre, je m'avançai dans les broussailles jusqu'à 50 yards environ du rivage et je halai sur la ligne. Alors, sans que j'eusse entendu aucun bruit, je vis s'élever dan les airs une colonne d'eau de 5 pieds de diamètre e de 60 pieds de hauteur, laquelle en retombant couvrit les bois d'écume et forma une vague circulair qui vint inonder les deux rives du fleuve. Ce spectacle était grandiose. Si un bâtiment s'était trouv au-dessus d'une de ces torpilles, selon toutes probabilités, il eût été coulé ; mais je crois que si la torpill était par son travers, le bâtiment en serait quitte pou recevoir de l'eau sur le pont.

« Avec ce que je sais maintenant, je me fais for d'employer ces torpilles contre les rebelles toutes le fois que j'en recevrai l'ordre (1).

« J'ai l'honneur d'être, T.-S. EASTMAN. »

(1) Quelques jours plus tard, le lieutenant-colonel Eastman s

(*c*) *Inflammation par les acides :* Ce système, dont nous avons déjà parlé, fut employé surtout pour les torpilles portatives et pour celles qui armaient des obstructions (fig. 18). Un tube en plomb, divisé en deux parties se vissant l'une sur l'autre, était introduit à frottement très-dur dans un bouchon en bronze qu'on fixait sur la torpille.

Dans la partie supérieure du tube étaient, solidement calés avec du coton, deux tubes en verre mince contenant, l'un de l'acide sulfurique, l'autre un mélange de chlorate de potasse et de sucre ; la

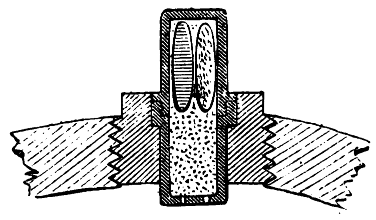


Fig. 18.

partie inférieure du tube, munie de renforts en cuivre et percée de plusieurs trous destinés à donner passage à la flamme, était chargée avec une poudre vive quelconque.

On attribue à des torpilles de ce genre la perte du monitor *Montauk*, des transports *Maple-Leaf* et *Harrict-Weed*.

(*d*). *Inflammation par percussion :* L'appareil imaginé par M. Singer a été l'objet, dans les Etats

servait d'une des torpilles confédérées pour détruire les chaudières du vapeur des Etats-Unis *le Satellite*, qu'on était obligé d'abandonner à l'eunemi.

du Sud, d'un engouement qu'on a peine à s'expliquer. Dans ce système des leviers en saillie devaient, sous le choc d'un bâtiment, faire jouer un ressort à boudin, agissant sur une tige en fer qui venait frapper une capsule.

Les torpilles Singer, adoptées presque définitivement à la suite de rapports favorables, avaient été mouillées en grand nombre dans les ports du golfe du Mexique. Dans toutes celles qui ont été relevées, l'oxydation et le dépôt des coquillages avaient rendu tout jeu du mécanisme impossible.

(*e*). *Inflammation par frottement* (*by friction*). Le brigadier général Raines, directeur du laboratoire d'Augusta, en Géorgie, est l'inventeur d'un excellent système d'amorces auquel on doit la perte du *Tecumseh* et de six autres bâtiments.

Les torpilles employées étaient formées de barils en chêne, qu'on rendait imperméables au moyen d'un mélange bouillant de poix, de goudron et de résine qu'on versait à l'intérieur. Afin d'obtenir une couche égale sur toute la surface, on avait soin de rouler le baril jusqu'à ce que le mélange fût solidifié. Sur la surface extérieure on appliquait du goudron.

Deux cônes (*ch*, *ch*) en sapin, s'appuyant sur les douves *a*, *a* et protégeant les fonds du baril contre les chocs qui auraient pu les défoncer, augmentaient la force ascensionnelle du système et donnaient à la torpille une forme présentant peu de résistance aux courants; de la sorte, aucun remous à la surface ne venait déceler la présence de la torpille, et on pouvait réduire considérablement le poids de l'ancre destinée à la retenir. La torpille portait cinq points

ımmation M (m, m' m'' m''' m'''') (fig. 19 et 20) enus à la partie supérieure par le poids de la ée F et l'action de la chaîne G.

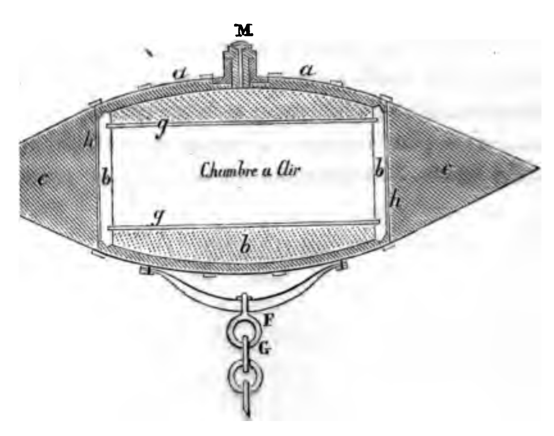


Fig. 19. Coupe.

ır pouvoir installer ces points d'inflammation, il

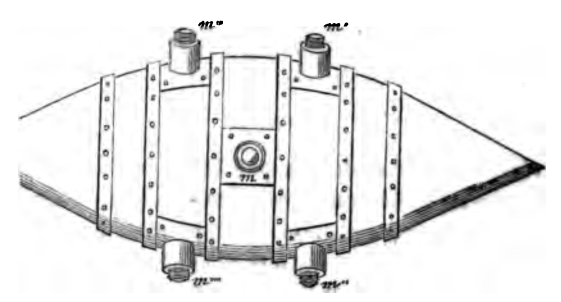


Fig. 20. Projection horizontale.

fallu donner à la torpille 1m,30 de longueur centimètres de diamètre. Comme la charge de

50 livres de poudre *b* n'aurait occupé qu'une faible partie de la capacité du baril, une chambre à air (*gg*) en zinc ou en fer-blanc occupait tout l'espace libre. La présence de cette chambre à air donnait à la torpille une très-grande force ascensionnelle, qui lui permettait de résister quelques instants au choc d'un bâtiment. Cette résistance, si faible qu'elle fût, était suffisante pour rendre l'inflammation infaillible.

La figure 21 représente au tiers de la grandeur

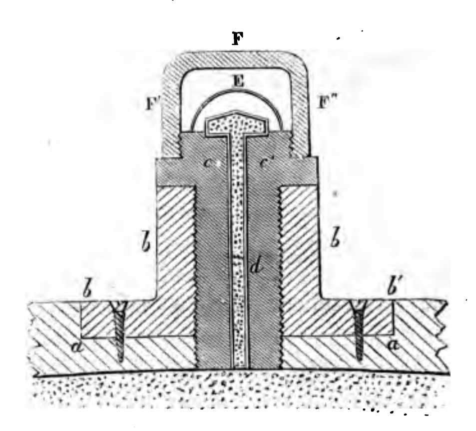


Fig. 21.

réelle la fusée adoptée par le général Raines pour les torpilles flottantes; un autre modèle, destiné aux opérations sur terre, fut employé avec le plus grand succès à la défense du fort Wagner.

a a est une douve du baril, épaisse de 3 centimètres; *bb'* est une plaque en bronze fixée sur la douve au moyen de vis à bois. Cette plaque porte le collier *b, b*, dans lequel on visse le cylindre de bronze *cc'd*,

qui renferme la fusée remplie d'un mélange ayant pour composition :

Chlorate de potasse.......	50
Sulfure d'antimoine.......	20
Verre pilé..............	20
	100

Cette composition est tellement sensible, qu'un coup léger donné avec une baguette suffit pour la faire éclater. Une capsule E en cuivre mince protége la fusée contre l'action de l'eau, et une sauvegarde en bronze (FF'F''), qu'on ne dévisse qu'au moment d'immerger la torpille, prévient tout danger d'explosion prématurée.

La dynamite, nous le croyons du moins, est appelée à jouer un rôle important dans l'emploi des torpilles, ses effets à poids égal étant de beaucoup plus énergiques que ceux de la poudre. L'épaisseur et par conséquent le poids des enveloppes métalliques des torpilles chargées avec la poudre ordinaire sont considérables, et c'est là une condition nécessaire pour que l'inflammation provoquée sur un point puisse se communiquer à toute la charge avant que l'enveloppe soit rompue.

Avec la dynamite il n'en serait pas de même. Quelque peu résistantes que soient les parois du récipient, l'instantanéité de l'explosion est telle, que l'inconvénient signalé plus haut ne pourrait se produire.

Quant aux charges de dynamite qu'on devrait employer dans ces engins, l'expérience seule peut les indiquer. Nos essais dans ce sens ont été faits sur

une trop faible échelle pour que nous puissions en tirer des conclusions.

Les méthodes d'explosion pourront être les mêmes qu'avec la poudre, à la condition de mettre feu d'abord à l'amorce de fulminate.

Brise-torpilles.

Peut-être pourrait-on, ainsi que l'a pensé M. Pellet, se servir de petites torpilles chargées de dynamite pour provoquer la destruction des torpilles ennemies.

En effet, la pression considérable développée sous l'eau par une faible quantité de dynamite agit dans un rayon d'action d'une grande étendue, et brise ou ébranle même à distance les obstacles les plus résistants.

Ici se termine ce que nous avions à dire sur ce sujet. Nous ne reviendrons pas sur les procédés électriques dont nous avons parlé ailleurs d'une manière générale; tout ce qui se rattache à ce mode d'inflammation est trop compliqué pour pouvoir prendre place dans un aperçu aussi rapide que celui-ci. Au moment où les torpilles sont définitivement entrées dans la pratique de la guerre, où la science même des torpilles sera peut-être révolutionnée par l'adoption de nouveaux explosifs, nous avons voulu mettre nos lecteurs à même de suivre les progrès de la question; aussi avons-nous réuni dans cette notice, le plus brièvement possible, des documents renfermés d'ordinaire dans des recueils peu accessibles.

APPENDICE.

FIN DE LA TABLE.







